

## ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ПОИСКОВ ПОДВОДНЫХ СКОПЛЕНИЙ МАМОНТОВЫХ БИВНЕЙ МЕТОДОМ ГИДРОЛОКАЦИИ В РОССИЙСКОЙ АРКТИКЕ

А. Н. Смирнов, К. К. Калиновский

ФГБУ Всероссийский научно-исследовательский институт геологии и минеральных ресурсов Мирового океана им. академика И. С. Грамберга (Санкт-Петербург, Российская Федерация)

Статья поступила в редакцию 13 апреля 2020 г.

*Рассмотрена потенциальная возможность наращивания ресурсного потенциала и практической добычи ископаемой мамонтовой кости (ИМК) в Северной Якутии за счет россыпных скоплений бассейновой группы: донных прибрежно-морских и озерных. Данная группа прогнозируемых объектов выделена в системе общей морфогенетической типизации россыпей ИМК на основе литолого-динамических факторов, определяющих возможность их формирования в условиях деградации арктической криолитозоны. Приведено обоснование использования метода гидролокации как наиболее эффективного на этапе поисков и изучения условий локализации подводных морских и озерных россыпей ИМК.*

**Ключевые слова:** ископаемая мамонтовая кость, морские донные россыпи, озерные россыпи, криолитозона, термоабразия, гидролокация, гидролокаторы бокового обзора, технический дайвинг, Североякутская костеносная провинция, восточный арктический шельф.

### Введение

В классификацию мирового рынка камнесамоцветного сырья включена слоновая кость (ivory), в том числе ее ископаемый вариант (fossil ivory) — бивни позднеплейстоценовых мамонтов (*Mammuthus primigenius*, Blumenbach, 1799). По технологическим и декоративным характеристикам ископаемая мамонтовая кость (ИМК) является полным аналогом современной слоновой кости — это ценное высоколиквидное сырье, потенциальный источник валютных поступлений.

В настоящее время в мире остро стоит проблема сохранения биоразнообразия планеты, в частности — сохранения популяции африканских слонов, массовое уничтожение которых обусловлено постоянной востребованностью слоновых бивней косторезной

промышленностью некоторых государств Юго-Восточной Азии. Проблема находится на постоянном контроле ЮНЕСКО и Всемирного союза охраны природы. В последние годы определены жесткие международные ограничения и даже полный запрет в ряде стран на торговлю современной слоновой костью и изделиями из нее. В этой ситуации ископаемую мамонтовую кость следует рассматривать как ресурсную альтернативу современной слоновой кости для зарубежного рынка, поскольку Россия является мировым монополистом по ресурсам и добыче этого уникального вида природного сырья.

С 1980-х годов масштабная добыча ИМК и периодический учет объемов добываемой мамонтовой кости осуществляются только в Республике Саха (Якутия), где она объявлена национальным достоянием. Ежегодная добыча ИМК в регионе на протяжении последних десятилетий составляет порядка

© Смирнов А. Н., Калиновский К. К., 2020

25—30 т, причем в последние годы она даже несколько увеличилась — до 35—50 т, что, возможно, связано с интенсивностью опоскования известных костеносных площадей, а также подключения относительно нового Колымского костеносного района. На территории Северной Якутии (Североякутская костеносная провинция) сосредоточено 80—90% ресурсов и осуществляется более 90% добычи мамонтовых бивней российской Арктики. Добыча в смежных регионах (Западно-Сибирская низменность, Енисей-Хатангское междуречье, полуостров Таймыр, Западная Чуокта) не носит системного характера и суммарно, по-видимому, не превышает 5—7% добычи в Северной Якутии.

Объектами промысла являются экспонированные природные скопления мамонтовых бивней, естественно высвободившихся из вмещающих отложений, и даже единичные бивни — учитывая высокую стоимость сырья. По технологии добычи мамонтовые бивни в наше время, как и сотни лет назад, являются преимущественно объектом сбора (собираательства), по природоохранным нормам — с минимальным применением горных работ.

Скопления мамонтовых бивней представляют собой экзогенные образования россыпного класса, классифицируемые как россыпи валунного типа, что следует из значительных размеров моноблоков. Это характерно именно для камнесамоцветов (россыпи нефрита, агатов, янтаря и др.), тем более что ценность сырья определяется в том числе и размера-

ми выделений полезного ископаемого. Россыпи современные, автохтонные (ближайшего сноса), преимущественно экспонированные, их формирование происходит в результате денудации костеносных коллекторов, происходящей в условиях общей денудации арктической криолитозоны.

### Морфогенетическая типизация россыпей ископаемой мамонтовой кости

Анализ литолого-динамических обстановок образования и условий локализации россыпных скоплений ИМК позволяет выделить несколько морфогенетических типов россыпей прибрежно-морского и континентального генезиса. Вопросы типизации рассмотрены в системе общих закономерностей образования скоплений россыпных полезных ископаемых [1].

Поскольку основная продуктивная толща представлена весьма льдистыми образованиями, главными разрушающими факторами являются различные виды термоэрозии: термоденудация, термоабразия, термопланация. Анализ ландшафтно-геоморфологических и криолитодинамических обстановок формирования и локализации позволяет выделить две морфогенетические группы россыпей — прибрежно-морские и континентальные, принципиально отличные по характеристикам и промышленной значимости (табл. 1).

**Прибрежно-морские россыпи.** В группе прибрежно-морских россыпей в настоящее время веду-

Таблица 1. Типизация россыпей ископаемой мамонтовой кости

Морфогенетический тип россыпей	Тип денудации россыпеобразующей формации	Геоморфологическая приуроченность	Морфологические особенности продуктивных участков и возможные параметры	Промышленные характеристики	
				Продуктивность (число находок)	Наличие месторождений, участков, методы эксплуатации
<i>Прибрежно-морские россыпи</i>					
Линейные пляжевые	Термоабразия	Современный пляж, морская терраса	Протяженность участков, ориентированных вдоль береговой линии, достигает 15—20 км при ширине 30—300 м	До 35 ед./км	Промышленные месторождения (запасы категории С <sub>2</sub> и прогнозные ресурсы Р <sub>1</sub> +Р <sub>2</sub> )
Площадные литоральные	Термоабразия	Прибрежные отмели (с глубинами 1—2 м), осушки	Морфология участков изометрично-удлиненная, ориентация субпараллельна береговой линии, протяженность до 15—20 км при ширине до 1,5—2 км	До 92 ед./км <sup>2</sup>	
Площадные донные	Термоабразия	Мелководные участки дна (с глубинами до 10 м)	Достоверных данных нет (прогнозируемый тип россыпей)	Масштабная разовая добыча осуществляется на осушках при сгонах воды	

Морфогенетический тип россыпей	Тип денудации россыпей преобразующей формации	Геоморфологическая приуроченность	Морфологические особенности продуктивных участков и возможные параметры	Промышленные характеристики	
				Продуктивность (число находок)	Наличие месторождений, участков, методы эксплуатации
<i>Континентальные россыпи</i>					
Линейные аллювиальные	Термоэрозия, эрозия	Долины рек, днища ложков (русло, пойма)	Морфология участков в целом соответствует плановой конфигурации фрагментов гидросети, протяженность до 10 км	До 0,47—5 ед./км (0,6—9,3 кг/км)	Участки долин, рекомендованные к разовой отработке (прогнозные ресурсы категории Р <sub>3</sub> )
Площадные (планиформные) криогенные	Термопланация, термокарст	Поверхность эолово-ледовой равнины, днища аласных котловин	Участки соответствуют полям образований «едомного комплекса» и развития аласных котловин; площади их составляют десятки-сотни квадратных километров	До 0,5—2 ед./км <sup>2</sup>	Попутный сбор бивней
Площадные озерные (озерно-аласные)	Термоабразия	Участки дна (глубины менее 10 м)	Участки соответствуют площадям термокарстовых озер и составляют десятки квадратных километров	До 0,5—2 ед./км <sup>2</sup>	Практическая добыча: траление (заброс) «кошками», технический дайвинг

щим по промышленной значимости типом являются линейные *пляжевые россыпи*, локализованные на поверхности (в поверхностном слое) современного пляжа и морской террасы. Именно этот тип сформировал промышленные месторождения с оцененными запасами и прогножными ресурсами (рис. 1), выявленными и в значительной части отработанными СПО «Северкварцсамоцветы» при проведении геолого-разведочных работ в 1980-х годах [2].

Скопления мамонтовой кости формируются в процессе термоабразии продуктивных образований, слагающих береговые уступы. На участках формирования россыпей береговые уступы сложены продуктивными отложениями двух типов: верхнеплейстоценовыми высокольдистыми образованиями едомного комплекса (первичный коллектор ИМК) и голоценовыми-современными озерно-термокарстовыми отложениями аласных котловин (вторичный коллектор ИМК). Площадное соотношение этих двух типов пород в пределах каждого конкретного россыпного участка весьма различно.

К этой же группе относятся *площадные литоральные россыпи*, залегающие на частично затапливаемых прибрежных отмелях-осушках, пологих береговых склонах, в том числе террасированных — в зоне активных сгонно-нагонных колебаний уровня моря с глубинами до 1—3 м. Россыпи формируются как

за счет непосредственной абразии и термоабразии костеносных береговых уступов, так и за счет постепенной переработки ранее сформировавшихся пляжевых концентраций. Невысокая удельная плотность ископаемой кости (порядка 1,6—1,7 г/см<sup>3</sup>) даже при весьма «неудобной» для транспортировки форме моноблоков обуславливает несколько повышенную миграционную способность бивней в водной среде. В прибрежной мелководной зоне разнос костного материала может достигать десятков-сотен метров от береговой линии, но в целом прибрежно-морские скопления мамонтовых бивней следует рассматривать как россыпи ближайшего сноса. Значительные ресурсные перспективы этого типа донных скоплений ИМК убедительно подтверждены результатами добычи сезона 2015 г. По устным сообщениям в результате большого отлива (сгон воды, превышающий 2,4 м на протяжении нескольких суток) на открывшихся прибрежных отмелях у южного побережья острова Большой Ляховский (архипелаг Новосибирские острова) было собрано порядка 16 т качественных бивней, и это далеко не все, что вскрылось на осушках.

*Площадные донные россыпи* — еще один морфогенетический тип из группы прибрежно-морских россыпей ИМК — прогнозируемый и, возможно, самый грандиозный по ресурсам. Речь идет о совре-

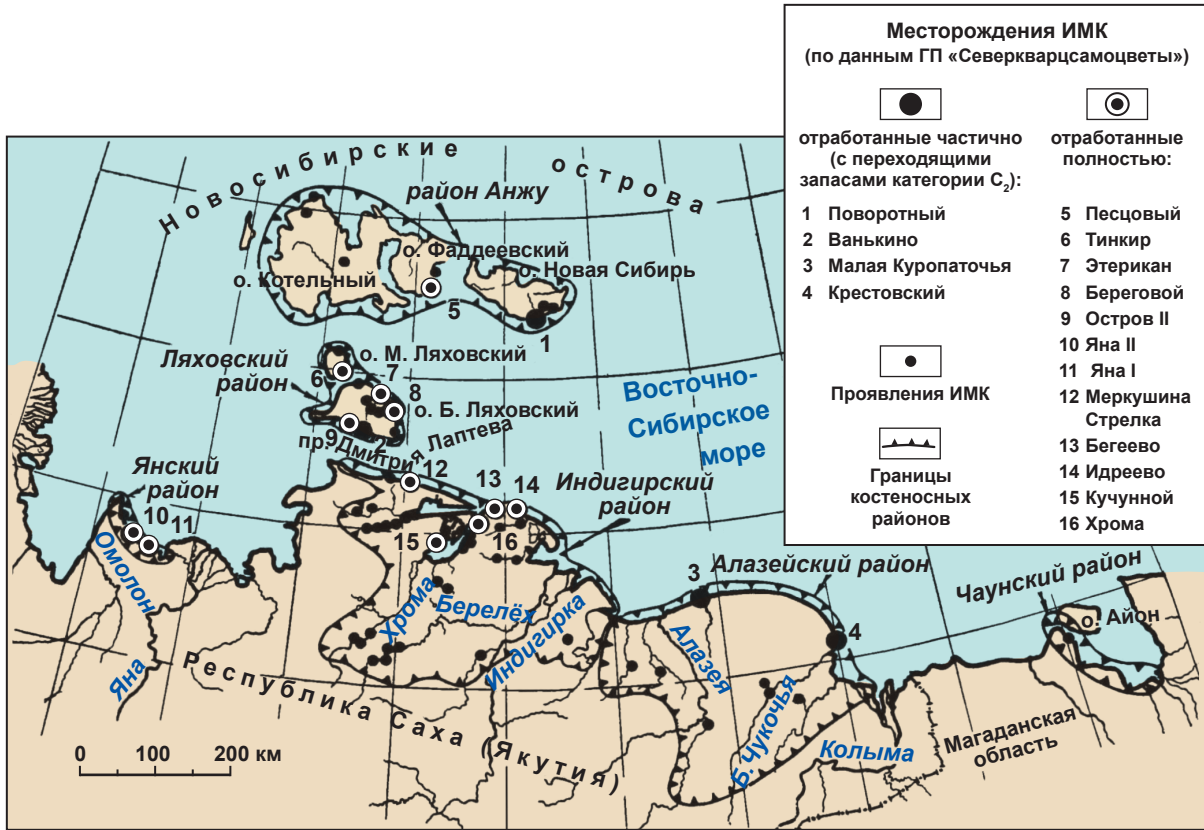


Рис. 1. Схема размещения россыпных месторождений и проявлений в Североякутской провинции

Fig. 1. Layout of placer deposits and occurrences in the North Yakutsk bone-bed province.

FMI (Fossil Mammoth Ivory) Deposits (according to SE "Severkvarcсамoцветы"):

- Partially worked out (with transferable reserves of C<sub>2</sub> category): 1 – Povorotniy, 2 – Van'kino, 3 – Malaya Kuropatoch'ya, 4 – Krestovskii;
- Completely worked out: 5 – Pestsovyi, 6 – Tinkir, 7 – Eterikan, 8 – Beregovoyi, 9 – Ostrov II, 10 – Yana II, 11 – Yana I, 12 – Merkushina Strelka, 13 – Begeevo, 14 – Idreevo, 15 – Kuchunnoi, 16 – Khroma;
- FMI manifestations;
- Borders of bone-bed areas

менных костеносных донных осадках на участках мелководья морей Лаптевых и Восточно-Сибирского, примыкающих к материковому побережью и Новосибирским островам. Россыпи представляют собой площадные однослойные скопления, локализованные на поверхности и в приповерхностном слое донных осадков. Фактические данные о наличии и поведении донных концентраций мамонтовых бивней отсутствуют, экономичных технологий поисков (геофизические методы, фотопрофилирование) и отработки подводных скоплений ИМК также пока нет. Динамические, криогенно-литологические и геоморфологические обстановки в мелководных зонах указанных акваторий достаточно сложны и мало изучены, следовательно, моделировать обстановки образования и локализации скоплений ИМК можно лишь с большой долей условности.

Практическое значение донных россыпей пока достаточно проблематично. Однако масштабные

процессы переотложения мамонтовой кости при термоабразии гигантских костеносных полей лессово-ледового материка «Арктида» [3], реликты которого мы еще наблюдаем, не могли не создавать концентрации ИМК уже в силу первичного обогащения. При растеплении едомных образований арктического типа объем переотложенной терригенной составляющей в 8—10 раз меньше исходного объема горной массы. Весь костный материал постепенно проецируется на дно, концентрируясь в тонком слое донных осадков — площадная продуктивность донных россыпей, вероятно, аналогична продуктивности литоральных россыпей ИМК.

Принципиальная возможность существования и, более того, промышленной эксплуатации донных (затопленных) россыпей ИМК на шельфе восточно-арктических морей подтверждается помимо указанных геологических предпосылок обнаружением подобных объектов на шельфе Северного моря. В

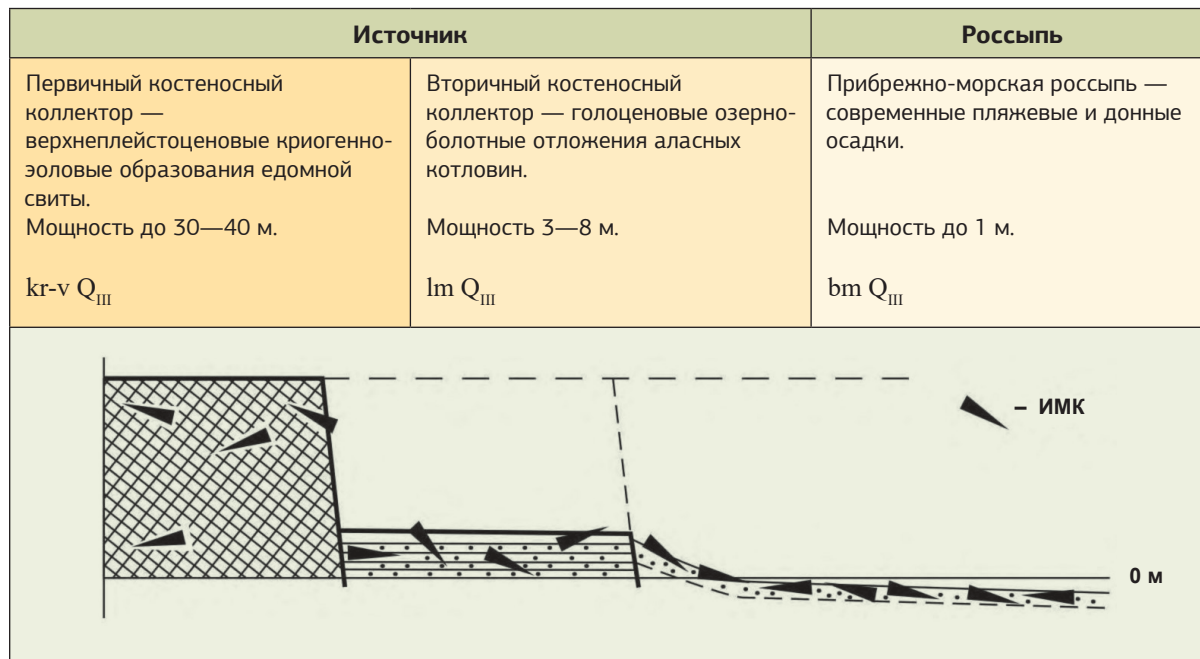


Рис. 2. Принципиальная схема формирования прибрежно-морских россыпей ископаемой мамонтовой кости  
Fig. 2. Schematic formation diagram of the coastal-marine FMI placers

последние годы на дне пролива Па-де-Кале (северное продолжение пролива Ла-Манш) установлены и уже активно эксплуатируются донные россыпные скопления костных остатков позднеплейстоценовой фауны «мамонтового комплекса», в том числе ИМК. Выявленные скопления сосредоточены на мелководных банках (глубины 40—60 м) между континентальной Европой и Британскими островами, костный материал находится на дне в экспонированном или полупогребенном состоянии. Добыча осуществляется с малотоннажных судов с помощью рыболовецких донных тралов [10].

В совокупности прибрежно-морские россыпи ИМК представляют собой единый ряд концентраций с различными (меняющимися по латерали) горно-геологическими условиями залегания. В генетическом, структурно-геоморфологическом, литолого-динамическом аспектах каждый из трех выделенных типов россыпей следует рассматривать как этапное состояние объектов в цепи последовательного их преобразования, происходящего по мере смещения береговой линии (рис. 2). Реальные же объекты, доступные сегодня опоскованию, оценке и отработке, обычно представляют собой совмещенные участки россыпей двух типов — пляжевых и литоральных.

**Континентальные россыпи** представлены тремя морфогенетическими типами.

*Линейные аллювиальные россыпи* формируются в речных долинах различного порядка, дренирующих поля развития комплекса продуктивных отложений. Речи Северной Якутии, протекающие в пределах приморских низменностей и крупных

островов Новосибирского архипелага — основных костеносных областей региона, в целом имеют спокойный, равнинный характер. И в то же время они характеризуются исключительной неравномерностью стока, определяемой сезонной эффективностью эрозионного цикла.

В речных долинах находки бивней в основном фиксируются на меандрирующих участках рек, где происходит более интенсивное разрушение береговых склонов, представленных практически повсеместно в регионе отложениями костеносной россыпеобразующей формации. Следует отметить, что высвобождение костного материала из продуктивных отложений происходит за счет не только речной эрозии, но и термоэрозионных процессов: береговые склоны нередко характеризуются наличием оплывин, сползанием участков склонов и иными проявлениями солифлюкции. Термоэрозия играет более заметную роль в высвобождении костного материала в верховьях мелких водотоков, в ложках, в днищах зарождающихся оврагов. Мамонтовая кость встречается обычно на речных отмелях (низкая пойма, русловые косы) — на участках, где река размывает склоны останцов, сложенных образованиями едомного комплекса или в непосредственной близости от них. Иными словами, переотложенная в речных долинах мамонтовая кость — материал ближайшего сноса. Найдки мамонтовых бивней и их фрагментов в речных долинах значительно более редки по сравнению с литоральной зоной. Установленная в результате поисковых работ продуктивность, безусловно существенно заниженная, не отражает истинный потенциал аллювиальных россыпей ИМК, что

объясняется рядом объективных и субъективных факторов, влияющих на достоверность оценки.

Второй тип россыпей данной группы — *планиформные криогенные россыпи*, залегающие на поверхности лессово-ледовой равнины. Практически они фиксируются только в зоне арктических тундр, охватывающей Новосибирские острова и приморские низменности севернее 70—72° с. ш., что определяется характером тундрового почвообразования и растительного покрова.

Россыпи однослойные, образуются при экспонировании ИМК в процессе так называемого мерзлотного выдавливания — явления, достаточно давно и хорошо изученного в связи с дорожным и гражданским строительством, горнодобывающими работами в районах развития «вечной» мерзлоты. Костный материал выходит на поверхность из верхних, подвергающихся сезонной оттайке горизонтов продуктивной толщи (деятельный слой) вместе с земляными столбами при развитии морозобойных трещин, а также термопланации поверхности лессово-ледовых образований.

Термопланация лессово-ледовой равнины обеспечивает за счет удаления вытаявшего терригенного мелкозема общее гипсометрическое понижение базисной поверхности. И даже при незначительной глубине сезонной оттайки (0,25—0,6 м) лессово-ледовых образований в деятельный слой постепенно вовлекаются все более глубокие горизонты продуктивной толщи и, соответственно, новый костный материал. Россыпи данного типа систематически не изучались. Их продуктивность условно определяется площадью останцов верхнеплейстоценовой лессово-ледовой равнины. Сбор кости носит случайный характер и нередко затруднен необходимостью трудоемкого извлечения бивней из промороженных вмещающих отложений.

Третий тип — *озерные россыпи ИМК*. В последние годы практика добычи мамонтовых бивней определила еще один морфогенетический тип их промышленных скоплений — озерный (озерно-аласный).

В эпоху голоценового климатического оптимума на едомах сформировалось множество кратерно-котловинных термокарстовых озер, занимающих в некоторых районах до 30—50% площади, образуя ландшафты озерного типа. Такие озера возникают и сегодня, производя глубокое вытаивание льдо-насыщенной осадочной породы (максимально до 80—90% объема горной массы), слагающей ложе. Скорость отступления берегов под действием термоэрозии составляет от 1—2 до 10—15 м в год, нарастая с глубиной озера. При этом происходит полное переотложение терригенного материала, в том числе костных остатков млекопитающих мамонтового комплекса, в донные осадки с резким уменьшением мощности — вплоть до десятикратного значения [3].

В системе классификации озерные россыпи, как и прибрежно-морские, относятся к бассейновым россыпям. Принципиальное отличие прибрежно-

морских и озерных обстановок в литодинамической активности: в общем случае озерные водоемы значительно менее пригодны для формирования россыпных концентраций [4].

Термокарстовые озера Северной Якутии следует рассматривать как крупные и, видимо, весьма продуктивные коллекторы россыпных скоплений мамонтовой кости. Пространственно они максимально сближены с первичными коллекторами ИМК — криогенно-эоловыми позднеплейстоценовыми образованиями «едомного» комплекса. Это «материнский» субстрат, на основе которого и происходит образование термокарстовых озер.

Механизм образования данных россыпей принципиально отличается от «классических» процессов озерной седиментации, формирующих промышленные концентрации кластогенных россыпных минералов. Термоабразионные берега озер, отступая по всему периметру, расширяют площадь (зеркало) озера — до достижения дренажного канала: ближайшего водотока или морского побережья. Происходит быстрый сброс воды, и образуются аласные равнины, на поверхности которых и в маломощном слое осадков локализованы переотложенные мамонтовые бивни. В целом аласные равнины понижены по сравнению с первичной равниной на 20—30 м. И если формирование планиформных концентраций происходит относительно медленно, по мере развития поверхностной термоденудации многолетне-мерзлых пород, то концентрации озерных россыпей образуются за достаточно короткий период.

Образование однослойных концентраций ИМК происходит по принципу накопления «вертикального запаса» — за счет осаждения полезного компонента и терригенной составляющей при вытаивании жильного и порового льда из первичного продуктивного коллектора. Данных о закономерностях распределения полезного компонента по площади нет, но в связи с тем, что формирование костеносных осадков происходит в низкоэнергетической литодинамической обстановке с подавленными процессами волновой сепарации, нет оснований ожидать наличия концентраций, подобных линейным прибрежно-морским пляжевым.

### **Изучение и освоение бассейновых россыпей ископаемой мамонтовой кости**

Изложенная выше морфогенетическая, а по сути геолого-промышленная типизация россыпей ИМК позволяет определить новое направление исследований, способное существенно изменить промышленный баланс ИМК в сторону бассейновых концентраций.

Потенциальные ресурсы ИМК для аквальной (шельфовой) части Североякутской провинции оценены для глубин до 10 м в 34 тыс. т, для глубин до 20 м — в 120 тыс. т [2]. Эта оценка была сделана по аналогии с континентальными участками без учета специфики накопления и сохранности переотложен-

ной мамонтовой кости в аквальных условиях, тем более без учета ее реальной извлекаемости.

Указанный суммарный объем добычи в регионе (до 35—50 т) при массовых ежегодных (сезонных) поисках, в том числе и на ранее обследованных территориях и отработанных месторождениях, можно объяснить стабильной регенерацией скоплений ИМК (пляжевых, аллювиальных, планиформных), обусловленной особенностями деградации криогенных костеносных отложений. По-видимому, это предел.

В сложившейся ситуации без изучения и освоения новых промышленно значимых типов россыпных скоплений (бассейновых) нет оснований ожидать существенного расширения ресурсной базы ИМК и реального прироста добычи. При этом вопрос скорее не в наличии мамонтовых бивней и их фрагментов на дне акваторий — это практически доказано и не вызывает сомнений, а в условиях их залегания, а также в современных поисковых возможностях, определяющихся технологией обнаружения и извлечения костного материала на поверхность.

Бассейновые россыпи ИМК принципиально отличаются от континентальных инженерно-геологическими характеристиками: донные россыпи (прибрежно-морские и озерные) находятся под водой, что даже при незначительных глубинах исключает возможность их непосредственного визуального наблюдения, ресурсной оценки скоплений, а также отработки (добычи) традиционными способами. Уже начальная стадия работ — обнаружение — обуславливает необходимость разработки методики на основе комплексных междисциплинарных исследований, включающих как геологические, так и научно-производственные изыскания в области гидролокации, подводной телефотосъемки, технического дайвинга.

Использование дистанционных оптических методов (телефотосъемки, профилирования) при подводных исследованиях в прибрежной мелководной зоне морей Лаптевых и Восточно-Сибирского, по-видимому, будет малоэффективно. Прибрежная акватория характеризуется значительной замутненностью водной среды, что будет существенно ограничивать применение телефотопрофилирования (реальная видимость в придонном слое воды не более 3—4 м). При этом на мелководье и в прибрежной зоне прозрачность воды еще более уменьшается в связи с увеличением количества взвесей в результате взмучивания грунта волнением. Тем не менее на начальном этапе общих поисков для решения принципиальных вопросов оценки условий залегания мамонтовых бивней на поверхности донных отложений возможно применение данного метода с использованием цифрового видеорегистратора с системой передачи данных по трос-кабелю. Возможно, метод телефотофиксации донных объектов будет более эффективен при применении на озерах, где замутненность воды суще-

ственно меньше, но это также требует практической проверки.

По-видимому, в определенных условиях вопросы рекогносцировки поисковых и добычных работ на мелководных акваториях (заверки, фиксации, извлечения) достаточно эффективно могут быть решены с помощью подводно-технических работ (технического дайвинга). Практический опыт работы аквалангистов при геологических работах на арктических шельфовых акваториях России крайне незначителен. Единственным прецедентом можно считать работы специализированной группы аквалангистов НПО «Севморгео» — НИИГА при проведении донного опробования на россыпи золота в северо-западной части Анадырского залива. Группа была обеспечена легководолазным снаряжением СВУ-3 и аквалангами АВМ-5 (шланговый вариант), а также жилетами всплытия. Работы велись на глубинах до 5 м<sup>1</sup>. Применительно к работам на ИМК подобной практики нет ни в нашей стране, ни за рубежом. Необходимо также отметить, что действующие нормативы определяют оптимальную глубину работ в 10 м — с учетом времени на подъем при температуре воды, близкой к 0°C, а также существенные ограничения по времени. Такая глубина даже в пределах условных морских границ Североякутской костеносной провинции соответствует акватории площадью порядка 85 тыс. км<sup>2</sup>. Но отсутствие сегодня, как уже отмечалось, соответствующей методики поисков и практического опыта применения технического дайвинга в подобных условиях определяет необходимость ведения работ на участках акватории, заведомо обогащенных костным материалом. К ним следует отнести аквальные (литоральные) фланги установленных ранее пляжевых месторождений, в первую очередь на Новосибирских островах (см. рис. 1). Следует, однако, отметить ограниченность визуальных возможностей при данных работах, что связано с мутностью воды, а также их достаточно высокую стоимость.

Ведущим методом, позволяющим с наибольшей результативностью обнаруживать мамонтовые бивни в подводных условиях, является гидролокация — эффективное средство поиска и идентификации донных объектов, как экспонированных, так и находящихся в грунте. Технической основой указанных работ могут стать чувствительные гидролокаторы бокового обзора (ГБО) — сонары, способные на малых глубинах выделять в полужидкой среде верхнего слоя донных осадков плотные инородные тела относительно небольших размеров и позволяющие формировать растровые изображения дна.

Непосредственными объектами изучения являются поле рельефа и маломощные осадки морского дна, а также любые грубообломочные включения. Искомые мамонтовые бивни и их фрагменты — ус-

<sup>1</sup> Отчет о прогнозно-оценочных и опытных морских геолого-геофизических работах в северо-западной части Анадырского залива / НПО «Севморгео». — Л., 1978.

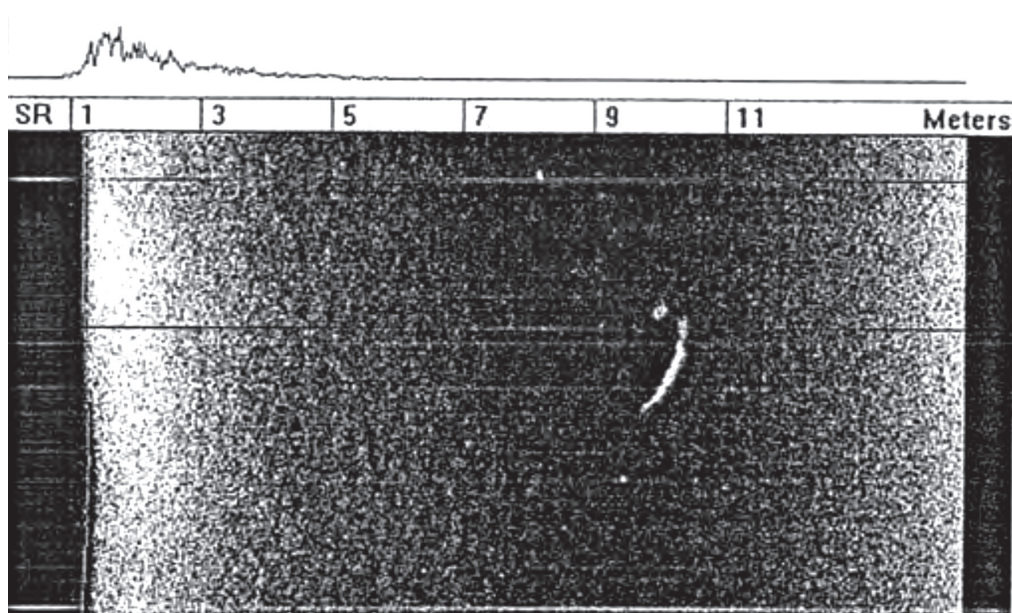


Рис. 3. Сонограмма грунта, снятая ГБО «Edge Tech 4125» на частоте 1600 кГц, в проливе Дмитрия Лаптева  
Fig. 3. Sonogram of soil shot by SSS (side-scan sonar) "Edge Tech 4125" at a frequency of 1600 kHz in the Dmitry Laptev Strait

ловно «точечные» объекты: форма удлинённая, размеры ориентировочно составляют  $(0,5—2,0) \times (0,1—0,2)$  м. Объекты немагнитные, идентификация возможна только по их морфологии. Это обстоятельство и определяет необходимость применения ГБО с высокой рабочей частотой излучения в интервале 500—1200 кГц, обеспечивающей необходимую разрешающую способность [5]. Ограниченная дальность действия аппаратуры с такими частотами вполне укладывается в интервалы глубин акваторий на возможных площадях опосредования (максимально до 14—15 м).

Необходимо учитывать физико-географические условия поиска, определяющие технические характеристики применяемой аппаратуры, а также методику опосредования площадей. В первую очередь это глубина акватории и донный субстрат, который в общем случае представлен двумя типами: многолетнемерзлые породы — затопленные реликты криогенно-эоловые образования «едомного» комплекса, и илы, алевриты — продукты их перемыва. Возможность обнаружения объекта определяется в том числе силой отраженного от объекта сигнала и другими факторами, связанными с гидрологическими характеристиками, рельефом дна и составом грунта в районах поиска [6].

Следует отметить, что на многих прибрежных участках акватории морей Лаптевых и Восточно-Сибирского отмечаются подводные реликтовые криогенные образования с проявлениями современного подводного термокарста, фиксирующегося в виде «просадочных» форм рельефа. С позиций оценки россыпеобразующих факторов следует отметить, что такие термокарстовые депрессии (просадки) могут служить «ловушками» — местами локализации

концентраций переотложенной мамонтовой кости, в том числе с маломощным горизонтом перекрывающих их донных осадков (до 0,8 м).

На сегодня практический опыт применения данного метода минимален. В 2015 г. была сделана попытка изучить условия локализации костных останков фауны мамонтового комплекса на акватории пролива Дмитрия Лаптева у побережья острова Большой Ляховский с помощью гидролокатора бокового обзора «Edge Tech 4125» (использовавшиеся рабочие частоты — 600—1600 кГц). Работа велась с маломерного судна при глубинах акватории до 12 м и шириной полосы обследования 10—15 м. Гидролокационной съёмкой было зафиксировано наличие единичных изыскиваемых предметов, находящихся на поверхности донных отложений. На снимке (рис. 3) предположительно изображен бивень мамонта длиной порядка 1,6 м, визуализированный по его морфологии. Фиксация и контрольный подъем предмета для его идентификации на борт плавсредства не представлялся возможным по техническим причинам. Последующие попытки повторно обнаружить гидролокационным оборудованием ранее зафиксированные предметы оказались безуспешными (отображение на мониторе оборудования отсутствовало), что оказалось связано с техническими неисправностями аппаратуры.

### Заключение

Устойчивая ежегодная добыча ископаемой мамонтовой кости в костеносных районах континентальной части Североякутской провинции при существующем масштабном опосредовании определяется, по-видимому, стабильной регенерацией ее скоплений, обусловленной деградацией костенос-



ных коллекторов в арктической криолитозоне [7]. Существенное наращивание реально извлекаемых ресурсов мамонтовой кости возможно при освоении новых, мало изученных к настоящему времени россыпей «конечных водоемов» — бассейновых [8].

Скопления мамонтовых бивней представляют собой экзогенные образования россыпного класса, классифицируемые как россыпи валунного типа. В предложенной системе морфогенетической типизации выделяются две группы россыпей — прибрежно-морского и континентального генезиса (см. табл. 1), принципиально различающиеся как по условиям формирования и локализации, так и по инженерно-геологическим характеристикам. Выделенные в качестве новых и весьма перспективных объектов, донные россыпи (как прибрежно-морские, так и озерные) находятся под водой, что исключает возможность их непосредственного визуального наблюдения и обуславливает специфику их обнаружения и отработки традиционными способами.

Дистанционные оптические методы (теле- и фотосъемка, профилирование) при подобных подводных исследованиях, по-видимому, будут малоэффективны, поскольку прибрежная акватория характеризуется значительной замутненностью водной среды. Использование и эффективность (в том числе экономическая) технического дайвинга при поисковых и добычных работах на мелководных акваториях (обнаружение и заверка, фиксация, извлечение мамонтовых бивней) пока под большим вопросом. Практический опыт работы аквалангистов при геологических работах на арктических шельфовых акваториях России крайне незначителен.

На сегодня наиболее эффективным методом поиска и идентификации мамонтовых бивней и их фрагментов в подводных условиях следует считать гидролокацию. Технической основой являются чувствительные гидролокаторы бокового обзора с рабочей частотой излучения в интервале 500—1200 кГц и более, способные на малых глубинах выделять в полужидкой среде верхнего слоя донных осадков (до 2 м) или на их поверхности плотные инородные тела относительно небольших размеров. Мамонтовые бивни и их фрагменты — объекты малоразмерные, условно «точечные», идентификация их возможна только по морфологии. Это обстоятельство и определяет необходимость применения аппаратуры с высокой рабочей частотой. Ограниченная дальность действия такой аппаратуры укладывается в интервалы глубин акваторий на площадях опосредования (возможный начальный этап — мелководный шельф в обрамлении Новосибирских островов).

Как уже отмечалось [7], перспективы наращивания ресурсной базы ИМК могут развиваться по двум направлениям. Первое — традиционное, укладываемое в рамки обычной схемы геолого-

разведочных и эксплуатационных работ на суше: дальнейшее изучение и ресурсная оценка пляжевых, аллювиальных и планиформных россыпей мамонтовой кости. Второе направление определяется новой проблемой прогнозируемых бассейновых россыпей ИМК — донных морских на шельфовом мелководье восточных арктических морей и донных озерных в термокарстовых озерах, весьма широко развитых на территории Северной Якутии.

Задачи изучения и освоения новых прогнозируемых россыпей ИМК (бассейновых) обуславливают необходимость проведения комплексных междисциплинарных работ широкой геологической направленности, а также в области гидролокации. В перспективе организация работ по освоению нового типа скоплений геокриогенного природного ресурса [9] возможна скорее всего в форме национальной программы Республики Саха/Якутия — в связи с приоритетом ресурсной значимости Североякутской костеносной провинции в Арктике. Интерес внутреннего и зарубежного рынка к мамонтовой кости определяет необходимость расширения ресурсной базы этого уникального вида полезного ископаемого.

### Литература

1. Смирнов А. Н. Классификация природных скоплений ископаемой мамонтовой кости // Литосфера. — 2005. — № 4. — С. 151—164.
2. Смирнов А. Н. Ископаемая мамонтовая кость / ВНИИОкеангеология. — СПб., 2003. — 172 с. — (Труды НИИГА-ВНИИОкеангеология; т. 201).
3. Томирдиаро С. В. Лессово-ледовая формация Восточной Сибири в позднем плейстоцене и голоцене. — М.: Наука, 1980. — 184 с.
4. Патык-Кара Н. Г. Озерные россыпи ближнего сноса: минеральные типы и промышленное значение // Литология и полез. ископаемые. — 1996. — № 1. — С. 56—67.
5. Фирсов Ю. Г. Основы гидроакустики и использование гидрографических сонаров: Учебное пособие. — СПб.: Нестор-История, 2010. — 350 с.
6. Нестеров Н. А. Некоторые аспекты технологии гидролокационного поиска донных объектов // Навигация и гидрография. — 2014. — № 38. — С. 57—65.
7. Смирнов А. Н., Кириллин Н. Д., Иванова Ю. В., Журилова М. А. Забытое полезное ископаемое Арктики — мамонтовая кость // Арктика: экология и экономика. — 2016. — № 1 (21). — С. 66—75.
8. Словарь по геологии россыпей / Под ред. Н. А. Шило. — М.: Недра, 1985. — 197 с.
9. Кириллин Н. Д. Ископаемая мамонтовая кость — особый геокриогенный природный ресурс севера России: проблемы права, экономики и организации рационального природопользования. — Якутск: Дани АлмаС, 2011. — 192 с.
10. Mol D., Oosterbaan A. Vos J. De Wolharige neushoorn. Eem dier van de mammoetsteppe. — Leiden: Neushoorm Stichting Nederland, 2004. — 32 p.

### Сведения об авторах

Смирнов Александр Николаевич, доктор геолого-минералогических наук, первый заместитель генерального директора, ФГБУ «ВНИИОкеангеология» (190121, Россия, Санкт-Петербург, Английский просп., д. 1), e-mail: smirnov@vniio.ru.

Калиновский Константин Константинович, инженер 1-й категории, ФГБУ «ВНИИОкеангеология» (190121, Россия, Санкт-Петербург, Английский просп., д. 1).

### Библиографическое описание данной статьи

Смирнов А. Н., Калиновский К. К. Геологические предпосылки поисков подводных скоплений мамонтовых бивней методом гидролокации в российской Арктике // Арктика: экология и экономика. — 2020. — № 2 (38). — С. 86—96. — DOI: 10.25283/2223-4594-2020-2-86-96.

---

## GEOLOGICAL BACKGROUND TO SEARCH UNDERWATER ACCUMULATIONS OF MAMMOTH IVORY BY SONAR IN THE RUSSIAN ARCTIC

Smirnov A. N., Kalinovskiy K. K.

FSBI "All-Russian Research Institute of Geology and Mineral Resources of the World Ocean named after academician Igor Gramberg" (St. Petersburg, Russian Federation)

The article was received on April 13, 2020

### Abstract

Currently, the need for substantial increase in the base of actually recoverable resources of fossil mammoth ivory (FMI) — of the *Mammuthus primigenius* ivory (Blumenbach, 1799), is determined by intensified interest of domestic and foreign markets in this unique type of natural raw material. Accumulations of mammoth ivory are exogenous formations of the placer class, classified as boulder type placers, formed on the residual-denudation principle exclusively under conditions of the Arctic permafrost zone degradation. An analysis of their localization conditions allows the authors to identify several morphogenetic (geological and commercial) types of placers of the coastal-marine and continental genesis. The ivory is recovered (up to 30-50 tons annually) in the territory of Northern Yakutia from placers located on land, including the beach area.

Significant prospects for increasing the FMI resource base are associated with the study and exploitation of predicted underwater placers: bottom coastal-marine deposits in the shallow waters of the eastern Arctic Seas, and lacustrine placers formed in thermokarst lakes that are very common to the territory of Northern Yakutia. Bottom placers are under water, which excludes the possibility of their direct visual observation, especially resource estimation and processing by traditional methods.

Sonar detection is the most effective method of searching and identifying mammoth ivory and their fragments in underwater conditions. The technical basis are sensitive side-scan sonars (SSS) with an operating frequency between 500 and 1200 kHz and more, capable of operating in shallow waters. The mammoth tusks are small objects and their identification is possible only by morphology. This fact determines the necessity of using equipment with a high operating frequency.

**Keywords:** fossil mammoth ivory, sea bottom placers, lacustrine placers, cryolithozone, thermal abrasion, sonar detection, side-scan sonars, technical diving, North Yakutsk bone-bed province, eastern Arctic shelf.

### References

1. Smirnov A. N. Klassifikatsiya prirodnykh skoplenii iskopaemoi mamontovoi kosti. [Classification of natural accumulations of fossil mammoth bone]. *Litosfera*, 2005, no. 4, pp. 151—164. (In Russian).
2. Smirnov A. N. Iskopaemaya mamontovaya kost'. [Fossil Mammoth Bone]. *VNIOkeangeologiya*. St. Petersburg, 2003, 172 p. (Trudy NIIGA-VNIOkeangeologiya; vol. 201). (In Russian).
3. Tomirdiaro S. V. Lessovo-ledovaya formatsiya Vostochnoi Sibiri v pozdnem pleistotsene i golotsene. [The loess-ice formation of Eastern Siberia in the Late Pleistocene and Holocene]. Moscow, Nauka, 1980, 184 p. (In Russian).
4. Patyk-Kara N. G. Ozernye rossypi blizhnego snosa: mineral'nye tipy i promyshlennoe znachenie. [Near-demolition lake placers: mineral types and industrial importance]. *Litologiya i polez. iskopaemye*, 1996, no. 1, pp. 56—67. (In Russian).
5. Firsov Yu. G. Osnovy gidroakustiki i ispol'zovanie gidrograficheskikh sonarov: Uchebnoe posobie. [Basics of hydroacoustics and the use of hydrographic sonars]. St. Petersburg, Nestor-Istoriya, 2010, 350 p. (In Russian).
6. Nesterov N. A. Nekotorye aspekty tekhnologii gidrolokatsionnogo poiska donnykh ob'ektov. [Some aspects of the technology of sonar search for bottom objects]. *Navigatsiya i gidrografiya*, 2014, no. 38, pp. 57—65. (In Russian).
7. Smirnov A. N., Kirillin N. D., Ivanova Yu. V., Zhurilova M. A. Zabytoe poleznoe iskopaemoe Arktiki — mamontovaya kost'. [Arctic Forgotten Mineral — Mammoth Bone]. *Arktika: ekologiya i ekonomika*, 2016, no. 1 (21), pp. 66—75. (In Russian).
8. Slovar' po geologii rossypei. [Vocabulary geology dictionary]. Pod red. N. A. Shilo. Moscow, Nedra, 1985, 197 p. (In Russian).
9. Kirillin N. D. Iskopaemaya mamontovaya kost' — oso-byi geokriogennyi prirodnyi resurs severa Rossii: problemy prava, ekonomiki i organizatsii ratsional'nogo prirodopol'zovaniya. [Fossil mammoth bone is a special geocryogenic natural resource in the north of Russia: problems of law, economics and the organization of rational nature management]. Yakutsk, Dani AlmaS, 2011, 192 p. (In Russian).
10. Mol D., Oosterbaan A. Vos J. De Wolharige neushoorn. Eem dier van de mammoetsteppe. Leiden, Neushoorn Stichting Nederland, 2004, 32 p.

---

### Information about the authors

*Smirnov Aleksandr Nikolaevich*, Doctor of Geology and Mineralogy, Director General First Deputy, FSBI "VNIOkeangeologia" (1, Angliyskiy av., St. Petersburg, Russia, 1190121), e-mail: smirnov@vniio.ru.

*Kalinovskiy Konstantin Konstantinovich*, First Category Engineer, FSBI "VNIOkeangeologia" (1, Angliyskiy av., St. Petersburg, Russia, 1190121).

### Bibliographic description

Smirnov A. N., Kalinovskiy K. K. Geological background to search underwater accumulations of mammoth ivory by sonar in the Russian Arctic. *Arctic: Ecology and Economy*, 2020, no. 2 (38), pp. 86—96. DOI: 10.25283/2223-4594-2020-2-86-96. (In Russian).

Smirnov A. N., Kalinovskiy K. K., 2020