

## ГЕОЛОГИЯ И ГЕОФИЗИКА GEOLOGY AND GEOPHYSICS

Оригинальная статья / Original paper

<https://doi.org/10.30758/0555-2648-2024-70-1-103-116>

УДК 569.61:550.81:528(268.5)



### Перспективы использования беспилотных летательных аппаратов при поисках мамонтовых бивней в Арктике

А.Н. Смирнов, К.К. Калиновский, Н.В. Глинская✉, И.С. Дергачёва,  
М.А. Калиновская, В.В. Петров

*Всероссийский научно-исследовательский институт геологии и минеральных ресурсов  
Мирового океана имени академика И.С. Грамберга, Санкт-Петербург, Россия*

✉n.glinskaya@vniio.ru

**Аннотация.** В работе оценена возможность применения беспилотного летательного аппарата (БПЛА) при поисках экспонированных мамонтовых бивней в труднодоступных районах Арктики. Приведены результаты опытно-методических исследований, позволившие определить интервал оптимальных высот, а также возможную ширину полосы наблюдений при поисках экспонированных бивней с использованием фото- и видеосъемки с БПЛА при осуществлении поисков. Применение БПЛА обеспечивает возможность оперативного визуального контроля значительных по площади костеносных участков, фиксацию и координатную привязку обнаруженных мамонтовых бивней для последующего целенаправленного и оперативного их сбора.

**Ключевые слова:** беспилотные летательные аппараты, геоботанические зоны, кость мамонтовая, криолитозона, мамонтовые бивни, Североякутская костеносная провинция, Якутия

**Для цитирования:** Смирнов А.Н., Калиновский К.К., Глинская Н.В., Дергачёва И.С., Калиновская М.А., Петров В.В. Перспективы использования беспилотных летательных аппаратов при поисках мамонтовых бивней в Арктике. *Проблемы Арктики и Антарктики*. 2024;70(1):103–116. <https://doi.org/10.30758/0555-2648-2024-70-1-103-116>

Поступила 06.12.2023

После переработки 16.02.2024

Принята 27.02.2024

### Prospects of using unmanned aerial vehicles for detecting fossil mammoth ivory fields in the Arctic

Aleksandr N. Smirnov, Konstantin K. Kalinovskii, Nadezhda V. Glinskaya✉,  
Irina S. Dergacheva, Mariia A. Kalinovskaia, Vadim V. Petrov

*Academician I. S. GRAMBERG All-Russia Scientific Research Institute for Geology and Mineral  
Resources of the Ocean, St. Petersburg, Russia*

✉n.glinskaya@vniio.ru

**Abstract.** In recent decades, fossil ivory, the tusks of the Siberian mammoth of the late type (*Mammuthus primigenius* Blumenbach, 1799), has been in great demand on the world market of gemstone raw materials. Fossil ivory is a valuable highly liquid natural raw material of biogenic origin. With its decorative and technological characteristics, it is a fossil analogue of the tusks of the present-day African and Asian elephant (the populations of which are protected by UNESCO), used for the production of carved articles of great aesthetic value. Industrial clusters of mammoth tusks are concentrated in just a few Arctic regions of Russia: the only region today which holds confirmed industrial potential of fossil mammoth ivory (actually recoverable resources) is Northern Yakutia. This is due to the limited number of territories whose paleogeographic and landscape-ecological conditions were favorable for mammoths in the Late Pleistocene, as well as to the taphonomic conditions conducive to the long-term preservation of bone remains in permafrost conditions. Placer accumulations of mammoth tusks are formed as a result of denudation of cryogenic bone reservoirs containing up to 90% ice; the main destructive factors are various types of thermal erosion, which contributes to the formation of new accumulations. Today, just as centuries ago, the search for fossil ivory, is carried out mainly by walking over large areas in remote areas of the Russian Arctic. The search objects are fully or partially exposed fossil ivory lying on the surface (in the surface layer) of present-day sedimentary formations in various landscape-geomorphological and geobotanical settings. The current period of studying and exploiting the natural resources in Russia is characterized by the active use of unmanned aerial vehicles (UAVs) with video cameras, which significantly reduces the complexity of research in various fields of their application. We have carried out experimental and methodological work for the visual recognition of exposed mammoth tusks in the natural lansetting using a copter-type UAV equipped with video cameras and appropriate computer software. The interval of optimal heights is determined, as well as the possible width of the observation band during the search. The use of UAVs is expected to significantly increase the effectiveness of search through operational visual control of large areas of bone-bearing territories, fixation and coordinate binding of detected mammoth tusks for subsequent targeted and operational collection.

**Keywords:** cryolithozone, geobotanical zones, exposed mammoth tusks, fossil ivory, North Yakutsk bone-bearing province, unmanned aerial vehicle (UAV), Yakutia

**For citation:** Smirnov A.N., Kalinovskii K.K., Glinskaya N.V., Dergacheva I.S., Kalinovskaia M.A., Petrov V.V. Prospects of using unmanned aerial vehicles for detecting fossil mammoth ivory fields in the Arctic. *Arctic and Antarctic Research*. 2024;70(1):103–116. (In Russ.). <https://doi.org/10.30758/0555-2648-2024-70-1-103-116>

Received 06.12.2023

Revised 16.02.2024

Accepted 27.02.2024

## Введение

Широкое практическое использование методов дистанционных наблюдений в сфере природопользования — аэрофотосъемки — имеет уже относительно продолжительную историю, с середины XX в. Уже тогда основной областью гражданского применения аэрофотометодов являлось картирование территорий для решения задач во многих отраслях народного хозяйства — картография и геология, ландшафтоведение и гидрология, лесоустройство, сельское хозяйство и др. Эффективность определялась полетными характеристиками летательных аппаратов, применяемой фото- и киноаппаратурой, навигационными возможностями, погодными условиями [1].

При дистанционном изучении природных объектов в арктических областях характерными задачами можно считать оценку численности животных (олени, белые медведи, ластоногие — моржи, нерпы, тюлени), проводимую на значительных площадях (десятки и сотни кв. километров), но без точной координатной привязки единицы наблюдения [1].

Современный этап (с начала 2000-х гг.) изучения и освоения природных богатств России характеризуется активным использованием беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) с видео- и фотоаппаратурой, что позволяет существенно сократить трудоемкость исследований в различных сферах их применения [2]. Расширение

сферы применения БПЛА возможно и в области освоения минерально-сырьевых ресурсов, в частности при поисках и добыче мамонтовых бивней — уникального природного сырья биогенного происхождения. В наши дни, как и столетия назад, поиски осуществляются преимущественно методом пешего исхаживания значительных по площади территорий в труднодоступных районах Российской Арктики. Одним из перспективных методов поиска может стать применение дистанционной видео- и фотосъемки с использованием беспилотных летательных аппаратов квадрокоптерного типа, способных, при необходимости, к зависанию над исследуемыми участками.

Данная работа нацелена на получение практических результатов визуального дистанционного распознавания и контроля локализации экспонированных мамонтовых бивней в условиях природного ландшафта. Объекты наблюдения фиксировались камерой видео- и фотосъемки, встроенной в беспилотный летательный аппарат коптерного типа, позволяющий менять интервалы высоты наблюдения.

### Геологические и ресурсные предпосылки

Ископаемая мамонтовая кость (ИМК) — бивни сибирского мамонта позднего типа (*Mammuthus primigenius* Blumenbach, 1799), ценное высоколиквидное природное сырье биогенного происхождения, аналог современной слоновой кости, добывается на территории Российской Арктики на протяжении многих столетий. На современном историческом этапе систематическая добыча мамонтовых бивней осуществляется начиная с периода проведения геологоразведочных работ на ископаемую мамонтовую кость в 1979–1991 гг. СПО «Северкварцсамоцветы» на территории Северной Якутии.

Практическое значение имеет преимущественно экспонированная мамонтовая кость: в первую очередь ее природные скопления — россыпи и даже единичные бивни, учитывая высокую стоимость сырья. Скопления мамонтовых бивней представляют собой экзогенные образования россыпного класса, классифицируемые как россыпи валунного типа, что следует из значительных размеров моноблоков. Подобные россыпи характерны именно для камнесамоцветов (россыпи нефрита, агатов, янтаря и др.), когда ценность сырья определяется в том числе и размерами выделений полезного ископаемого [3].

Сырьевой потенциал ИМК сосредоточен лишь в немногих арктических областях России. Это объясняется ограниченностью территорий с благоприятными палеогеографическими и ландшафтно-экологическими условиями обитания *Mammuthus primigenius* в позднем плейстоцене, а также специфическими тафономическими обстановками криолитозоны, способствовавшими массовому захоронению и длительной консервации костных остатков в условиях многолетней мерзлоты [4].

Единственным на сегодня регионом, обладающим доказанным промышленным потенциалом ИМК (реально извлекаемыми ресурсами), является Северная Якутия, в пределах которой выделяется *Североякутская костеносная провинция*. Провинция выделяется по комплексу геологических, горно-геологических и геолого-промышленных показателей, характеризующих ее сырьевую специализацию, геологическую целостность и обособленность, ресурсную значимость. Высокий таксономический ранг отражает региональный масштаб развития источников питания — основы формирования россыпей ИМК. В Российской Арктике выделяются еще два крупных костеносных региона, соответствующих рангу провинции, но обладающих существенно более слабыми промышленными перспективами. Это север

Западной Сибири (п-ов Ямал, обрамление Обской губы, Гыданский п-ов) — условно *Западносибирская костеносная провинция* — и Северо-Сибирская низменность и Центральный Таймыр (от р. Енисей до Хатангского залива и далее на восток — от р. Оленёк и устья р. Лены) — условно *Северосибирская костеносная провинция*. В их пределах нередко отмечаются разрозненные находки мамонтовых бивней, но значимые россыпные скопления ИМК (месторождения) пока неизвестны. Следует отметить, что специализированные поисковые работы на ИМК в этих регионах никогда не проводились [3].

В Североякутской провинции проведенные исследования позволили оценить ресурсный потенциал ИМК для суши в 184 тысячи тонн на основе ее ландшафтного и геолого-минералогического районирования. Расчет базируется на данных площадной продуктивности выявленных месторождений литоральной зоны [5]. Полученные результаты согласуются с данными других авторов (порядка 140 тысяч тонн) [6–8]. Результаты оценки говорят об огромном ресурсном потенциале региона, способном обеспечить устойчивый промысел на протяжении многих и многих десятилетий.

Имеющиеся официальные сведения по запасам категории  $C_2$  и прогнозным ресурсам категорий  $P_1$  и  $P_2$  мамонтовой кости в Северной Якутии, принятым на баланс Центральной комиссией по запасам Министерства геологии СССР по состоянию на 1991 г. в размере порядка 190 тонн (результаты геологоразведочных работ СПО «Северкварцсамоцветы»), явно занижены и не отражают реальный ресурсный потенциал провинции, который оценивается в сотни тысяч тонн [5].

Поисково-оценочная стадия геологоразведочных работ очень быстро, практически одновременно, перешла в стадию освоения: выявленные и оцененные на этом этапе месторождения были отработаны в результате т. н. «попутной добычи». Затем последовал постоянный поисковый мониторинг костеносных территорий, осуществляемый недропользователями на законных и иных основаниях уже более 30 лет: при массовой старательской добыче извлечено (собрано) более 700–800 тонн бивней, что уже сейчас значительно перекрывает балансовые показатели [5].

При широком опойсковании костеносных территорий на протяжении столетий и с учетом горно-геологических особенностей локализации мамонтовых бивней (практически полная экспонированность) трудно ожидать открытия новых продуктивных участков. Важнейшим условием длительной и стабильной эксплуатации костеносных районов Североякутской провинции является регенерация — экспонирование мамонтовых бивней и образование (восстановление) их скоплений на ранее обследованных (в том числе отработанных) участках. В различной степени регенерация свойственна всем выделенным типам россыпей, но наиболее масштабно она проявлена именно в прибрежно-морских обстановках (пляжевые россыпи), где ежегодно перерабатываются огромные объемы пород продуктивной толщи.

### **Поисковая объектология**

Объектами поиска и добычи являются полностью или частично экспонированные мамонтовые бивни, залегающие на поверхности (в поверхностном слое) современных осадочных образований в различных ландшафтно-геоморфологических и геоботанических обстановках. Источниками являются реликтовые поля покровных лессово-ледовых образований позднеплейстоценового возраста, в изобилии содержащих костные останки фауны «мамонтового комплекса» (промышленный тип первичного коллектора), а также более молодые образования, включающие переот-

ложенную мамонтовую кость. В совокупности они образуют россыпеобразующую формацию — основу формирования россыпных месторождений мамонтовой кости [2].

Большинство обнажений приурочены преимущественно к естественным эрозионным врезам: береговым обрывам морских и озерных побережий и долинам водотоков разных порядков, где в активных литолого-динамических обстановках происходило высвобождение мамонтовых бивней. Природные россыпные концентрации ИМК сформировались в результате денудации костеносных коллекторов — первичного и производных генераций. Поскольку основная продуктивная толща представлена весьма льдистыми образованиями («едома» арктического типа содержит до 85–93 % жильного и порового льда), главными разрушающими факторами являются различные виды термоэрозии (термоабразия, термопланация, термокарст), проявленной обычно в сочетании с другими видами эрозии [9].

Такой подход позволяет выделить две группы россыпей — прибрежно-морские и континентальные, принципиально отличные по характеристикам и промышленной значимости [4]. Представленная ниже систематика россыпей ИМК, базирующаяся на анализе геолого-геоморфологических и морфодинамических об-

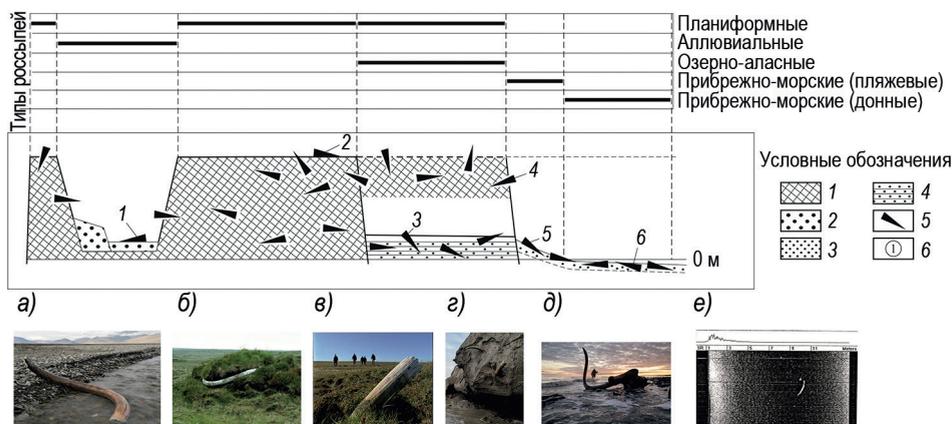


Рис. 1. Принципиальная схема локализации мамонтовых бивней в различных ландшафтно-геоморфологических обстановках.

1–4 — типы вмещающих отложений: 1 — верхнеплейстоценовые криогенно-эоловые образования едомной свиты (первичный костеносный коллектор); 2 — современные аллювиальные отложения; 3 — современные прибрежно-морские отложения (пляжевые и донные); 4 — голоценовые озерно-болотные отложения аласных котловин (вторичный костеносный коллектор); 5 — мамонтовые бивни и их фрагменты; 6 — характер залегания экспонированных мамонтовых бивней: а — пойменный аллювий; б — поверхность криогенно-эоловых образований; в — поверхность озерно-аласной котловины; з — многолетнемерзлые образования в береговом обрыве (первичный коллектор); д — пляж, береговая осушка; е — изображение бивня на сонограмме ГБО донных отложений

Fig. 1. General scheme of mammoth tusk localization for various landscape and geomorphological conditions.

1–4 — types of enclosing sediments: 1 — Upper Pleistocene cryogenic-Aeolian formations of the Edom formation (primary bone collector); 2 — modern alluvial deposits; 3 — modern coastal-marine sediments (beach and bottom); 4 — Holocene lake-marsh deposits of the Alas basins (secondary bone collector); 5 — mammoth tusks and their fragments; 6 — the nature of the occurrence of exposed mammoth tusks: а — floodplain alluvium; б — the surface of cryogenic-Aeolian formations; в — the surface of the lake basin; з — permafrost formations in the coastal cliff (primary collector); д — beach, coastal drainage; е — image of the tusk on the sonogram of the side-view sonar

становок их формирования и локализации, ориентирована на объекты, доступные прямому визуальному выявлению. Все выделенные типы россыпей поверхностные (приповерхностные), по возрасту — современные, образование их происходит в настоящее время (рис. 1).

В группе прибрежно-морских россыпей, ведущей по промышленной значимости, выделяются линейные пляжевые россыпи, локализующиеся на поверхности (в поверхностном слое) современного пляжа и морской террасы. Скопления мамонтовых бивней формируются в процессе абразии и термоабразии продуктивных образований, слагающих береговые уступы [4].

В группе россыпей континентального генезиса могут быть выделены два морфогенетических типа: линейные аллювиальные и планиформные криогенные. Линейные аллювиальные россыпи формируются в речных долинах различного порядка, дренирующих поля развития комплекса продуктивных отложений.

Планиформные криогенные россыпи, залегающие на поверхности лессово-ледовой равнины, образуются при экспонировании мамонтовых бивней в процессе т. н. «мерзлотного выдавливания» — явления, достаточно давно и хорошо изученного в связи с дорожным и гражданским строительством, горнодобывающими работами в районах развития вечной мерзлоты. Практически они фиксируются только в зоне арктических тундр, что определяется характером тундрового почвообразования и растительного покрова [4].

### **Геоботаническая зональность**

Применение дистанционных методов при поисках мамонтовых бивней помогает решать различные задачи. Дешифрирование космо-аэрофотоснимков, снимков спектральной космосъемки (LANSAT) позволяет выявлять и дифференцировать поля распространения продуктивных коллекторов различных генераций, в том числе в относительно новых для освоения районах — например, на зачехленных территориях в южной части Североякутской костеносной провинции. Особенности залегания экспонированных бивней и характер их «камуфляжа» во многом определяются хорошо выраженной широтной геоботанической зональностью [10].

К примеру, на территории Северной Якутии, в пределах которой выделена костеносная провинция и масштабно проводятся поисковые и добычные работы, достаточно четко выделяются геоботанические зоны: зона тундр (арктических, мохово-лишайниковых и кочкарных), включая лесотундру, зона лесов и горной тундры (рис. 2). В соответствии с особенностями морфологии рельефа и развития растительного покрова зоны характеризуются принципиально различными потенциальными возможностями аэровизуального контроля поверхности (рис. 3).

Следует отметить, что в регионе выделяется также зона арктических пустынь, охватывающая о-ва Де Лонга на северо-восточном фланге архипелага Новосибирские острова, отличающаяся весьма суровыми климатическими условиями и бедностью видового состава. При этом растительность не образует сомкнутого покрова: условия применения метода аэровизуального наблюдения оптимальны, но отсутствие первичных костеносных коллекторов определяет бесперспективность территории в плане промышленно значимой костеносности.

Зона тундр, развитая в пределах озерно-аллювиальных низменностей и характеризующаяся широким распространением мерзлотных и термоэрозионных форм, приуроченная к области широкого распространения первичных и вторич-

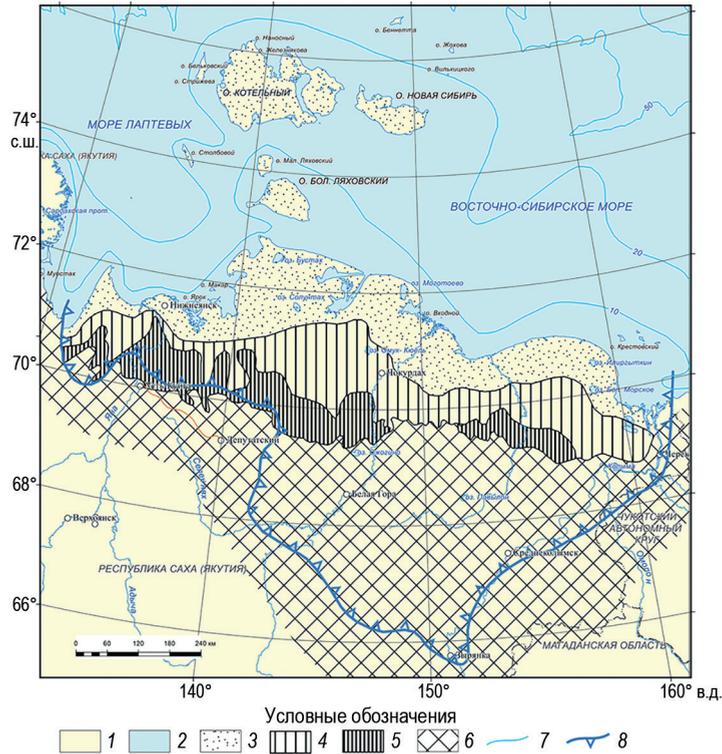


Рис. 2. Ландшафтно-геоботанические различия Североякутской костяной провинции.

1 — суша; 2 — морская акватория; 3 — арктические тундры; 4 — мохово-лишайниковые и кочкарные тундры; 5 — лесотундра; 6 — зона лесов и горной тундры; 7 — изобаты; 8 — граница Североякутской костяной провинции

Fig. 2. Landscape and geobotanical differences of the North Yakut bone province.

1 — land; 2 — marine area; 3 — Arctic tundras; 4 — moss-lichen and kochkar tundras; 5 — forest tundra; 6 — zone of forests and mountain tundra; 7 — isobates; 8 — border of the North Yakut bone province

ных костяных коллекторов, наиболее перспективна для поисков экспонированных мамонтовых бивней аэровизуальными методами. В целом для тундровой зоны с почвенным покровом, развивающимся в условиях максимально близкого залегания к поверхности многолетней мерзлоты (глубина сезонного активного деятельного слоя до 20–40 см на севере и до 1 м на юге), характерно преобладание мохово-лишайникового покрова с кустарничками, кустарниками и травами. В зависимости от развития растительных форм зона подразделяется на четыре подзоны: арктическую, типичную (мохово-лишайниковую), кустарниковую и лесотундру, существенно различающиеся составом и плотностью растительного покрова, что и обуславливает различную эффективность аэровизуального наблюдения [1].

При районировании следует особо выделить подзону лесотундры, прослеживающуюся в южной части тундровой зоны прерывистой полосой шириной до 100 км. Лесотундра характеризуется сочетанием тундровых и лесных флористических форм: в северной части преобладают тундровые растительные группировки с кустарнико-



Рис. 3. Типовые ландшафты, характерные для участков опоискования: *а* — арктическая тундра; *б* — термоэрозионная терраса (береговой склон); *в* — речная долина в арктической тундре; *г* — пляж с осушкой; *д* — термоэрозионная терраса; *е* — лесотундра с сетью водотоков  
Fig.3. Typical landscapes of the research areas: *a* — Arctic tundra; *б* — thermal erosion terrace (coastal slope); *в* — river valley in the Arctic tundra; *г* — beach with drainage; *д* — thermal erosion terrace; *е* — forest tundra with a network of waterways

выми зарослями, в южной части наблюдается постепенный переход в редкостойные северотаежные леса, занимающие до 40–50 % территории лесотундры. В связи с высокой плотностью растительного покрова данная подзона, как и расположенная южнее зона лесов, весьма неблагоприятна для аэровизуального контроля поверхности почвы и, соответственно, поисков мамонтовых бивней. Исключение составляют долины крупных рек с хорошо развитыми (и просматривающимися) руслом и поймой.

Зона лесов (северо- и среднетаежных) и горной тундры занимает территорию костеносной провинции южнее 70–69° с. ш. и приурочена преимущественно к районам развития среднегорного рельефа. Зона характеризуется преимущественно лиственничными лесами, в северной части зоны сильно разреженными (редколесье), с кустарниковым подлеском, слабо развитым травостоем; на водоразделах — торфянистым слоем различной мощности. В этой зоне для поисков мамонтовых бивней аэровизуальными методами на участках с фрагментарно развитыми костеносными коллекторами могут быть перспективны широкие долины рек с развитым руслом, поймой, террасовыми комплексами, причем с учетом сезонных особенностей стока.

## Экспериментальные работы и методические вопросы

Авторами проведены опытно-методические экспериментальные работы по визуальному распознаванию экспонированных фрагментов мамонтовых бивней в природном ландшафте с использованием беспилотного летательного аппарата. При проведении экспериментальных работ был использован БПЛА китайского производства — квадрокоптер DJI Mavic 2 Pro со встроенной камерой, используемой для съемки видео и фото: Hasselblad L10-20с (размер матрицы — 1"; угол обзора — 77°; фокусное расстояние — 10 мм).

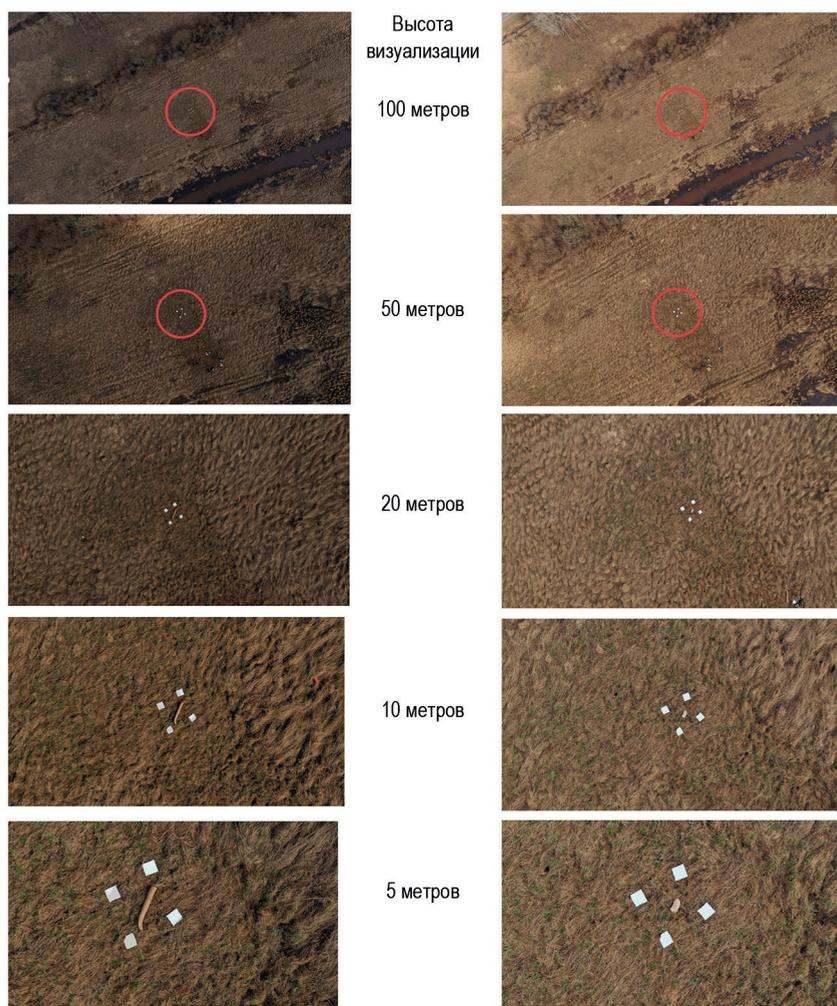


Рис. 4. Результаты дистанционного распознавания экспонированных мамонтовых бивней. В левой колонке — полностью экспонированный бивень (длина 90 см, диаметр 12 см); в правой колонке — частично экспонированный бивень (длина 35 см, диаметр 13 см)

Fig.4. Results of remote recognition of exposed mammoth tusks.

In the left column — a fully exposed tusk (length 90 cm, diameter 12 cm); in the right column — a partially exposed tusk (length 35 cm, diameter 13 cm)

Наблюдения проведены на различных дистанциях (высотах) — от 5 до 100 м, что позволило предварительно определить интервал оптимальных высот практического применения БПЛА при проведении поисков на поверхности почвенного покрова с травяной растительностью (аналог покрова арктической тундры — см. рис. 3).

В качестве объектов наблюдений были использованы фрагменты бивней мамонта с имитацией их экспонирования в двух различных вариантах: 1 — полностью экспонированный (горизонтальное экспонирование) фрагмент бивня длиной 90 см и диаметром 12 см в средней части; 2 — частично экспонированный (торцевое экспонирование) фрагмент бивня длиной 35 см и диаметром 13 см.

Результаты визуализации, проведенной на различных дистанциях (высоты 5 — 10 — 25 — 50 — 100 м) представлены на фототаблице (рис. 4). Интервал оптимальных высот наблюдения, позволяющий предварительно идентифицировать мамонтовый бивень среднего размера, при использовании данной фотоаппаратуры

Таблица

**Параметры участков визуализации при использовании фото- и киноаппаратуры на БПЛА**

Table

**Parameters of visualization sections with photo and video equipment used on a UAV**

Высота визуализации	5 м	10 м	20 м	30 м	40 м	50 м	100 м
Ширина возможной полосы наблюдения (АВ–СД), м	6	11	23	33	41	57	95
Площадь участка (АВ×ВС), м <sup>2</sup>	36	120	530	1090	1680	3250	9025

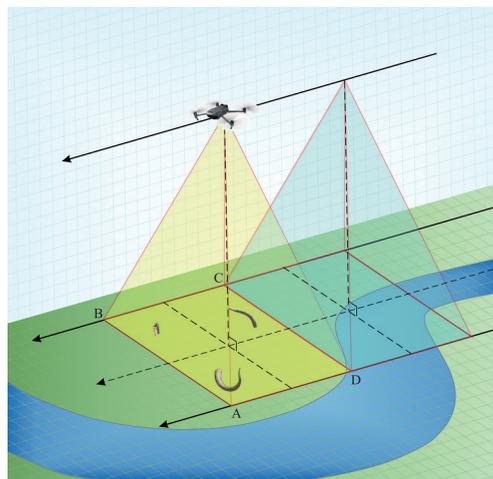


Рис. 5. Принципиальная схема визуализации экспонированных мамонтовых бивней при использовании БПЛА с фото- и видеоаппаратурой

Fig. 5. General scheme of exposed mammoth tusks visualization using UAV photo and telemetry

следует оценить в 10–40 м. Высота также пропорционально соотносится с шириной полосы наблюдения («коридора»), обеспечивающей значительный охват площади опоскования (рис. 5, таблица).

Осуществлена и проверена также возможность координатной привязки искомого точечного объекта, зафиксированного на экране монитора, — это один из важнейших аспектов дистанционных поисков.

## **Выводы**

Дистанционное зондирование земной поверхности применяется в области системного периодического изучения состояния природных комплексов (аэрокосмический мониторинг) уже порядка полувека [11]. Но, в отличие от дистанционного мелкомасштабного зондирования Земли из космоса, даже с высокой разрешающей способностью аппаратуры (съёмочные системы Landsat-5/7, SVOT-4/5, ASTER и другие), аэрофото- и видеосъёмка с применением низколетящих БПЛА квадрокоптерного типа ориентирована на крупномасштабную съёмку, позволяющую оперативно реагировать в различных поисковых ситуациях.

Необходимо отметить, что разработка методики использования БПЛА для решения указанных задач находится на ранней стадии развития. Рациональный выбор и возможность использования новых технических средств для поиска мамонтовых бивней в условиях арктических ландшафтов — типы БПЛА и технические характеристики видео- и фотоаппаратуры, соответствующее компьютерное и программное обеспечение — определяются целым комплексом факторов, начиная от организационных и финансовых возможностей поисковиков (недропользователей) и доступности аппаратуры, пригодной для выполнения указанной задачи в полевых условиях Арктики, и до уровня подготовленности оператора. Необходимые характеристики, принципиально влияющие на возможность эффективного опоскования костеносных территорий, включают следующие показатели: дифференцированная скорость и высота полета, возможность «зависания», визуальный контроль на мониторе и фиксация объекта с координатной привязкой, траектория движения, учитывающая возможность обнаружения и облета препятствий.

Важным моментом, влияющим на качество видеонаблюдения, является возможность стабилизации видеокамеры (что определяется количеством осей стабилизации). У недорогих БПЛА это не самая сильная сторона: чаще всего стабилизации просто нет, и для получения картинки без тремора может быть использована технология электронной стабилизации изображения.

Возможности БПЛА различных моделей расширяют и такие функции, как фиксация и прокладывание полетного курса, для чего используется встроенный GPS-приемник. В зависимости от сложности и цены модели подобные системы также различаются точностью позиционирования и другими возможностями.

Правила использования дронов определены Законом о БПЛА, разработанным на базе ФЗ-60 и вступившим в силу в июле 2017 года. Согласно этому документу, все БПЛА поделены на две категории: весом до и более 0,25 кг, при этом использование первых не требует специальной регистрации. Следует отметить, что, согласно закону, категорически запрещено использовать квадрокоптеры в зонах стратегических и военных объектов, а также на территориях заповедников. Не рекомендуется поднимать беспилотник на высоту более 50 м, чтобы не было столкновения с другими воздуш-

ными судами. В общем, на данный момент ситуация вокруг видеосъемки с использованием БПЛА в России обставлена большим набором бюрократических процедур.

Геологоразведочные работы, проведенные на территории Северной Якутии в 1980-х гг., показали высокую эффективность начального этапа: до 85 % всех обнаруженных мамонтовых бивней и их фрагментов на наиболее продуктивных — пляжевых — объектах были зафиксированы в экспонированном состоянии; аналогичная ситуация наблюдалась и на объектах других морфогенетических типов. Именно естественно высвободившиеся из коллекторов экспонированные бивни определяют «реально извлекаемые» ресурсы, тем более что искусственное разрушение многолетнемерзлых костеносных коллекторов категорически запрещено законодательными актами Республики Саха (Якутия).

Выполненные авторами опытно-методические работы по визуальному распознаванию экспонированных мамонтовых бивней в природном ландшафте показали практическую возможность использования БПЛА коптерного типа с видео- и фотоаппаратурой и соответствующим компьютерным обеспечением для дистанционной визуализации экспонированных мамонтовых бивней. Опытно-методические работы проводились в условиях характерного природного ландшафта (плотный травяной покров), аналогичного распространенному в костеносных районах Северной Якутии; в качестве объектов визуализации были использованы крупные фрагменты мамонтовых бивней различной степени экспонированности. Результаты работ позволили в первом приближении определить интервал оптимальных высот, а также ширину полосы наблюдений при поисках.

Необходимо отметить, что незначительный на сегодня опыт применения БПЛА позволяет лишь наметить методические особенности (и трудности) поисков, в том числе связанные с характеристиками и особенностями применяемых аппаратурных средств.

К достоинствам метода можно отнести:

– значительный охват территории опоискования, многократно превышающий площади при традиционных методах поисков при пешем исхаживании; возможность опоискования не только территорий, но и мелководных озерных и речных акваторий — при достаточной прозрачности воды, которая значительно выше, нежели у морской на прилегающих участках шельфа, где мамонтовые бивни могут фиксироваться методом гидролокации [12];

– возможность опоискования многометровых обрывов: на береговых участках такие обрывы достигают высоты в 20–25 м при сложной морфологии поверхности, что обусловлено термоэрозионными процессами высокольдистой костеносной толщи;

– возможность обнаружения и предварительного распознавания (визуализации) объектов поиска с координатной привязкой, что может обеспечить их оперативный сбор; это существенно важно, поскольку бивни мамонта в экспонированном состоянии (выведенные на поверхность в результате термоэрозионных процессов) не могут продолжительное время сохранять качественные характеристики, что снижает сортность и многократно — стоимость сырья.

К ожидаемым сложностям применения метода могут быть отнесены:

– необходимость специальной подготовки и последующей стажировки оператора для управления БПЛА в полевых условиях;

– допущение визуальных ошибок в идентификации отдельных находок, особенно на участках современного пляжа, где нередко встречается плавник, морфологически идентичный мамонтовым бивням;

– доступность технических средств с характеристиками, позволяющими обеспечить необходимую дальность и длительность полетов, что напрямую связано с источниками питания аппаратурных комплексов БПЛА;

– сезонность работы в условиях Арктики и погодные условия (заморозки, туманы и др.), существенно влияющие на возможность визуальной оценки поверхности; относительно краткий период отсутствия снегового покрова.

БПЛА с видео- и фотоаппаратурой могут существенно дополнить комплекс современных технических средств, намечаемых к использованию при поисках мамонтовой кости в принципиально различных ландшафтно-геоморфологических и горно-геологических условиях [13]. Их применение позволит повысить эффективность поисков путем оперативного визуального контроля значительных по площади участков костеносных территорий, фиксации и координатной привязки обнаруженных мамонтовых бивней для последующего целенаправленного и оперативного их сбора.

Использование БПЛА с фото- и видеофиксацией и визуализацией участков объекта поиска на территории России никем ранее не применялось. Данный метод предложен авторами впервые.

**Конфликт интересов.** Конфликт интересов отсутствует.

**Финансирование.** Данная работа осуществлена при выполнении государственного задания ФГБУ «ВНИИОкеангеология» по оценке минерально-сырьевого потенциала шельфовых областей Российской Федерации.

**Благодарности.** Коллектив авторов выражает благодарность канд. геол.-минерал. наук Николаю Дмитриевичу Кириллину и канд. биол. наук Алексею Николаевичу Тихонову за оказанную информационную поддержку.

**Competing interests.** There is no conflict of interest.

**Funding.** This work was carried out within the state assignment of the Federal State Budgetary Institution “Academician I.S. Gramberg All-Russia Scientific Research Institute for Geology and Mineral Resources of the Ocean” (FSBI “VNIIOkeangeologia”) to assess the mineral resource potential of the offshore regions of the Russian Federation.

**Acknowledgments.** The authors express gratitude to Nikolai Dmitrievich Kirillin, PhD of Geological Sciences, and Alexey Nikolaevich Tikhonov, PhD of Biological Sciences, for the information support provided.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. *Аэрометоды изучения природных ресурсов.* Под ред. Д.М. Кудрицкого и Г.Г. Самойловича. М.: Государственное издательство географической литературы; 1962. 340 с.
2. Кузнецова Н. Беспилотник эффективнее геологов. *Инвест-Форсайт: Деловой журнал.* 2018. <https://www.if24.ru/tech/> (размещено 05.07.2018).
3. Смирнов А.Н. Ископаемая мамонтовая кость. СПб., ВНИИОкеангеология: *Труды НИИГА-ВНИИОкеангеология*; 2003. Т. 201. 172 с.
4. Смирнов А.Н. Классификация природных скоплений ископаемой мамонтовой кости. *Литосфера.* 2005; 4:151–164.  
Smirnov A.N. Classification of the natural accumulation of fossil ivory. *Lithosphere.* 2005;4:151–164. (In Russ.)
5. Смирнов А.Н. Ресурсный потенциал ископаемой мамонтовой кости в Российской Арктике. *Минеральные ресурсы России. Экономика и управление.* 2007; 4: 21–29.  
Smirnov A.N. The fossil ivory resource potential in the Russian Arctic. *Mineral Resources of Russia / Economics & Management.* 2007;4:21–29. (In Russ.)

6. Боескоров Г.Г., Кириллин Н.Д., Лазарев П.А., Тесцов В.В. Ресурсы мамонтового бивня на севере Якутии. *Проблемы региональной экологии*. 2008;2:106–109.  
Voeskorov G.G., Kirillin N.D., Lazarev P.A., Testsov V.V. Forecasting assessment of the mammoth tusk resources in the north of Yakutia. *Problemy regionalnogo razvitya = Problems of regional development*. 2008;2:106–109. (In Russ.)
7. Кириллин Н.Д. *Ископаемая мамонтовая кость — особый геокриогенный природный ресурс севера России: проблемы права, экономики и организация рационального пользования*. Якутск: Академия наук Республики Саха (Якутия), ООО «Компания «Дани АлмаС»; 2011. 192 с.
8. Кириллин Н.Д., Ноговицин Р.Р. Ископаемая мамонтовая кость — особый природный ресурс. *Наука и техника в Якутии*. 2010;1(18):19–23.
9. Томирдиаро С.В. *Лессово-ледовая формация Восточной Сибири в позднем плейстоцене и голоцене*. М.: Наука; 1980. 184 с.
10. *Северная Якутия (физико-географическая характеристика)*. Под ред. Гаккеля Я.Я. и Короткевича Е.С. Л.: Изд-во «Морской транспорт», Труды ААНИИ. 1962. Т. 236. 280 с.
11. Вицентий А.В. Применение дистанционного зондирования Земли и космических технологий для развития арктических и субарктических территорий Российской Федерации. *Труды Кольского НЦ РАН*. 2013;5(18):40–45.
12. Смирнов А.Н., Калиновский К.К. Геологические предпосылки поисков подводных скоплений мамонтовых бивней методом гидролокации в российской Арктике. *Арктика: экология и экономика*. 2020; 2: 86–96. <https://doi.org/10.25283/2223-4594-2020-2-86-96>  
Smirnov A. N., Kalinovskiy K.K. Geological background to search underwater accumulations of mammoth ivory by sonar in the Russian Arctic. *Arktika: ekologiya i ekonomika = Arctic: Ecology and economy*. 2020;2:86–96. (In Russ.). <https://doi.org/10.25283/2223-4594-2020-2-86-96>
13. Нестерова Е.А., Николаева Н.Н., Горохов И.В. Поиск местонахождений остатков мамонтовой фауны в криолитозоне с использованием ГИС-технологий и геофизических методов. В кн.: *Материалы XXI Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов в г. Нерюнгри с международным участием, 27 февраля — 29 февраля 2020 г.: Технический институт (фи) СВФУ*. Нерюнгри; 2020. С. 149–153. <https://doi.org/10.18411/tifsvfu-2020-C1-196-43>