

Методические аспекты поисков россыпных месторождений на шельфе арктических и дальневосточных морей с помощью магнитоакустического метода

А. Н. Смирнов¹, доктор геолого-минералогических наук,
В. К. Паламарчук², кандидат геолого-минералогических наук,
Н. В. Глинская³, Е. В. Бурдакова⁴, О. Н. Мищенко⁵, Е. С. Попова⁶
ФГУП «ВНИИОкеангеология»

К настоящему времени на шельфе окраинных морей России спрогнозирован и обнаружен ряд прибрежно-морских россыпей (в том числе подводных объектов) с запасами, прогнозными и потенциальными ресурсами россыпного олова, золота, минералов титана, циркония и др., которые являются реальным резервом минерально-сырьевой базы страны. Возможность активизации поисково-оценочных работ на труднодоступных шельфах арктических и дальневосточных регионов обуславливает необходимость разработки экономических поисковых геолого-геофизических методов. Статья посвящена теоретическим вопросам разработки способов обнаружения, выделения и интерпретации слабых магнитных аномалий (интенсивностью от 0,3 нТл), обусловленных концентрациями магнитоактивных минералов (магнетита, титаномагнетита, ильменита), с которыми нередко связаны сопутствующие ценные минералы.

Ключевые слова: арктический шельф, россыпные полезные ископаемые, поисково-оценочные работы, геофизические методы, магнитные аномалии.

Мировая практика геолого-разведочных и добычных работ показывает, что в шельфовых областях Мирового океана имеется большое количество подводных объектов — россыпных месторождений олова, золота, алмазов, «черных», редкоземельных и иных минералов, многие из которых весьма рентабельны и активно эксплуатируются.

Шельфовое россыпеобразование — относительно молодая область минерагенических исследований, активно развивающаяся в России с начала 1970-х годов рядом специализированных геологических организаций: НИИГА-ВНИИОкеангеология ПГО «Севморгеология», ПГО «Севостгеология», ПГО «Якутскгеология», ВНИИМоргео, ИМГРЭ, ИГЕМ РАН и др. Изучение и оценка минерально-сырьевого

потенциала россыпных полезных ископаемых арктических шельфовых областей входили в проблему «ТПИ-ШЕЛЬФ», разрабатывшуюся в 1974—1990 гг. в НИИГА — ВНИИОкеангеология ПГО «Севморгеология» по заданию Министерства геологии СССР. В этот период были подготовлены «Временные методические рекомендации...» [1], регламентирующие основные параметры геолого-разведочного процесса: стадийность, сеть наблюдений, комплекс обязательных и вспомогательных методов и т. д. Одновременно в рамках параллельно проводившихся научных разработок была создана система минерагенического районирования шельфовых областей применительно к твердым полезным ископаемым, преимущественно россыпного класса, и создана база данных россыпных месторождений и проявлений окраинных морей России (от Балтийского до Японского) [2]. В настоящее время в шельфовых областях страны известно 15 подводных месторождений (в том числе крупных и суперкрупных) с оцененными запасами минерального сырья (рис. 1) и более 50 объектов с прогнозными ресурсами; количество слабо изученных россыпных проявлений исчисляется сотнями (табл. 1).

¹ e-mail: smirnov@vniio.ru.

² e-mail: palvas@mail.ru.

³ e-mail: palvas@mail.ru.

⁴ e-mail: palvas@mail.ru.

⁵ e-mail: palvas@mail.ru.

⁶ e-mail: KatyaSkresanova@yandex.ru.

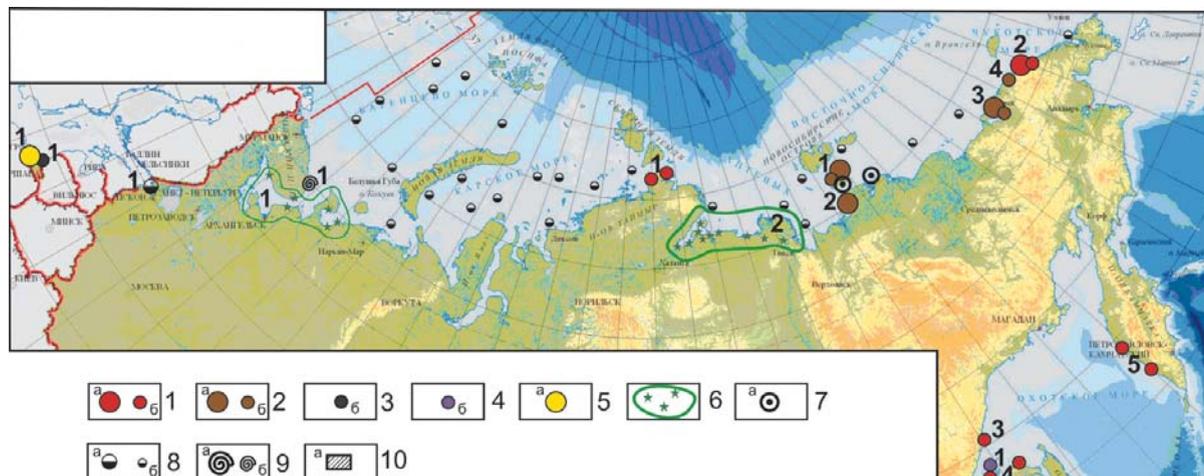


Рис. 1. Размещение подводных объектов в шельфовых областях России.
 Условные обозначения: 1–7 – россыпные полезные ископаемые и их номера на схеме (а – месторождения, б – крупные проявления): 1 – золото (1 – Паландерский и Унгинский узлы, 2 – Рывеевский узел, 3 – Аянский узел, 4 – Пришантарский район, 5 – Большерецкий район, 6 – Южно-Приморский район), 2 – олово (1 – Ляховский район, 2 – Чокурдахское месторождение, 3 – Певекский узел, 4 – Биллингский узел), 3 – минералы титана, железа, циркония (1 – Куршская россыпь, 2 – Восточно-Приморский район, 3 – Курильский район, 4 – Хасанский узел), 4 – платина (1 – Феклистовский узел), 5 – янтарь (1 – Самбийский район), 6 – прогнозируемые алмазоносные области (1 – Беломорско-Баренцевская, 2 – Южно-Лаптевская), 7 – кость мамонтовая (Северо-Якутская провинция); 8–10 – прочие полезные ископаемые и их номера (а – месторождения, б – залежи): 8 – шельфовые железомарганцевые конкреции (1 – Восточно-Финский район), 9 – ракуша (1 – Святоносская провинция, 2 – месторождение Ясное), 10 – органо-минеральные илы (1 – Южно-Приморский район)

Для подводных объектов характерны особые горно-геологические условия залегания, что определяет методологию поисков, разведки и эксплуатации, принципиально отличные от таковых для объектов суши. Даже при незначительных глубинах исключается возможность их непосредственного визуального обнаружения, изучения и оценки, а в дальнейшем и отработки традиционными способами. Аналогичное положение наблюдается на приморских низменностях (области развития кайнозойского палеошельфа), где россыпные объекты обычно погребены и не находят непосредственного отражения в современном рельефе.

В этой ситуации значительно возрастает роль геофизических методов, применение которых позволяет на начальном этапе решать многие задачи, в том числе существенно сокращать площади опосредования, прогнозировать погребенные формы рельефа и морфоструктурные особенности локализации россыпей, оценивать предварительно параметры объектов, а в экономическом плане — сокращать объемы дорогостоящего геологического, геохимического и минералогического опробования.

Убедительным примером может служить проблема россыпного олова [5]. В мировой горнорудной практике одним из важнейших видов минерального сырья, добываемого из россыпей шельфовых зон Мирового океана, является касситерит (основной минерал олова). Ведущая роль здесь принадлежит странам Юго-Восточной Азии — Индонезии,

Малайзии, Таиланду. Доля россыпных месторождений в общем объеме добычи составляет по миру 53,4% (в Азии — 80,5%), в России на конец 1990-х годов она достигала 12,4%.

В России одним из основных оловоносных регионов является Северо-Восток, где на поисковом этапе было выявлено несколько оловоносных районов. Наиболее крупным является Ляховский оловоносный район (Новосибирские острова) с суммарными запасами и прогнозными ресурсами подводных россыпей порядка 140 тыс. т. Однако прибрежно-морские россыпи касситерита до сих пор остаются нетрадиционными, скорее потенциальными источниками олова. Такое положение связано, в частности, с недостаточной изученностью зоны шельфа и особенностей шельфового россыпеобразования, с отсутствием экономических поисковых методов, а также с незначительным отечественным опытом отработки россыпей на акватории. Мировая тенденция роста востребованности олова определяет целесообразность обстоятельного анализа и развития технико-технологических возможностей дальнейших поисков, изучения и освоения россыпных месторождений касситерита на шельфах восточноарктических морей в обозримом будущем.

В последние десятилетия по многим причинам, в том числе из-за отсутствия эффективных и экономических способов поиска и разведки шельфовых россыпных месторождений, активность исследований значительно снизилась. Теоретические

Таблица 1. Подводные объекты (россыпи) и их количество в шельфовых областях России (по материалам ФГУП «ВНИИОкеангеология им. И. С. Грамберга» [4])

Полезные ископаемые	Объекты, группы объектов	Местоположение
Олово (касситерит)	Группа месторождений (2) и россыпей (2) в проливе Этерикан к северу от острова Большой Ляховский	Восточная часть моря Лаптевых
	Чокурдахское месторождение	Ванькина губа моря Лаптевых
	Месторождения (2) и россыпи (3) у полуострова Певек	Чаунская губа Восточно-Сибирского моря
	Россыпи (4) близ мыса Биллингса	Пролив Лонга, Восточно-Сибирское море
Золото	Южно-приморская группа месторождений (6) и россыпей (11)	Залив Петра Великого в Японском море
	Россыпи (2) Паландерского и Унгинского узлов	Юг Карского моря у полуострова Таймыр
	Рыпильхинская группа месторождений (2) и россыпей (2) в лагуне Рыпильхин и проливе Лонга	Юг Восточно-Сибирского моря
	Группа россыпей (4) в Пришантарском районе	Южная часть Охотского моря
	Россыпи (2) в Аянском узле	Западная часть Охотского моря
	Россыпи (2) в Большерецком районе	Восточная часть Охотского моря у полуострова Камчатка
Платина	Россыпь в Феклистовском узле	Южная часть Охотского моря
Минералы титана, железа, циркония	Куршская россыпь	Балтийское море у Самбийского полуострова
	Группа россыпей (более 20) в Восточно-приморском районе	Запад Татарского пролива в Японском море
	Россыпь в бухте Новгородской	Японское море у полуострова Хасан
	Россыпь в заливе Простор	У острова Итуруп
Янтарь	Россыпи у берегов Самбийского полуострова	Балтийское море
Алмазы	Прогнозируемые объекты	Горло Белого моря, Чешская губа на юге Баренцева моря, южная часть моря Лаптевых, примыкающая к Лено-Хатангскому междуречью

исследования продолжаются в рамках тематических работ по оценке минерально-сырьевого потенциала континентальных окраин России, проводимых ВНИИОкеангеология.

При геологических исследованиях шельфа (применительно к россыпным полезным ископаемым) применяется комплекс геофизических, геологических, буровых, горных и опробовательских работ. Традиционные геофизические методы широко используются на всех стадиях геолого-разведочных работ на шельфе, помогая решать геологические задачи на закрытых (погребенных или затопленных) объектах.

Эхолотирование применяется на всех стадиях работ с целью картирования элементов рельефа дна. Широкое распространение получила также локация бокового обзора, применяемая в качестве вспомогательного метода.

Сейсмоакустика является одним из основных методов, обеспечивающих большую оперативность и наглядность получаемой информации. Сейсмоакустические методы применяются на всех стадиях геолого-разведочных работ и позволяют изучать строения толщи рыхлых отложений и определять их мощность, картировать рельеф погребенных коренных пород и выявлять морфоструктурные обстановки,

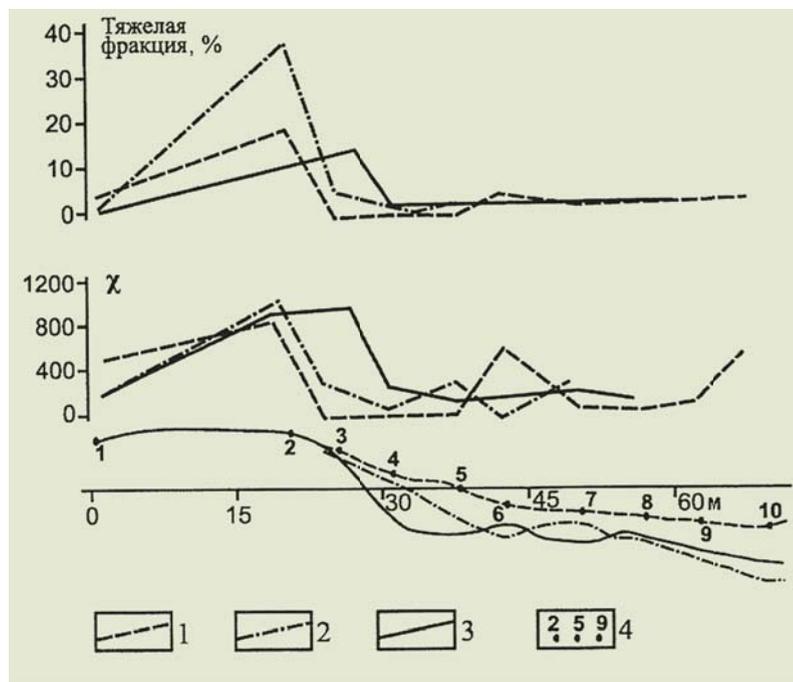


Рис. 2. Распределение выходов тяжелой фракции, значений магнитной восприимчивости χ в поверхностном слое отложений на поперечных профилях пляжа и верхней части подводного берегового склона: 1 – после шторма, 2 – между штормами, 3 – до шторма, 4 – точки отбора проб

благоприятные для формирования и локализации россыпей. Сейсмоакустическое профилирование далеко не всегда позволяет отличить россыпные скопления от других рыхлых образований, и в ряде случаев требуется дополнительная электроразведка.

Наиболее эффективной является высокоточная магнитная съемка, однако в магнитных аномалиях трудно выделить так называемый эффект от россыпей — аномалию, вызванную собственно продуктивным пластом россыпи. В этой ситуации актуальной методической задачей может быть разработка инновационной технологии, сочетающей дистанционные (геофизические) методы и изучение вещественного состава россыпей.

Известно, что россыпные концентрации полезных ископаемых кроме собственно полезного компонента (золота, олова, алмазов и др.) содержат в значительных количествах минералы тяжелой фракции, в частности, магнетит, титаномагнетит, ильменит, наличие которых приводит к образованию аномального магнитного поля различной интенсивности. Однако кроме созданных скоплениями магнитных минералов аномалий на участках их локализации существует ряд других магнитовозмущающих объектов, не имеющих прямого отношения к полезным ископаемым, например, коренные породы, на которых локализованы россыпные образования.

Из известных геофизических методов поиска россыпных месторождений наиболее близким по технической сущности является способ магнитной съемки, описанный в справочнике по магниторазведке [3]. В указанном способе общим с заявляемым изобретением является использование магнитных свойств сопутствующих минералов тяжелой фракции, являющихся индикаторами россыпных скоплений полезных ископаемых.

Провести дифференциацию аномалий по их природным источникам можно в режиме мониторинга, отслеживая изменения структуры магнитного поля, обусловленные изменениями структуры продуктивного

горизонта россыпи. Необходимо отметить, что такие динамические изменения свойственны именно прибрежно-морским россыпям, нередко характеризующимся перестройкой структуры пласта в результате волнового воздействия. В более редких случаях перестройка структуры возможна на россыпных месторождениях, локализованных в зонах активных («живущих») неотектонических разломов. Наличие разломов характерно для россыпей тектонических уступов: именно тектонические нарушения определяют условия формирования и локализации объектов этого важнейшего геолого-промышленного типа крупных и уникальных месторождений [6; 7].

Решение поставленных поисковых задач достигается тем, что по геологическим и геофизическим картам (в первую очередь магнитного поля) выбираются участки, перспективные на обнаружение россыпей в прибрежной акватории с активной волновой деятельностью, в зоне «живущего» разлома — акустического источника, влияющего (дополнительно к океаническим приливам) на активизацию залежей россыпных минералов, их «разрыхления» и перемещения в пространстве.

По результатам суточного мониторинга энергии микроземлетрясений выделяют время активизации разлома или массива пород и время «затишья», выполняют высокоточную магнитную съемку во время «затишья» — до активизации и после (или только после, если имеется «старая» высокоточная карта магнитного поля) и вычисляют различия в этих двух картах для оценки влияния активизации разлома или массива пород вместе с приливами земной коры и океана.

Очевидно, что удобнее выполнять обе съемки в течение двух-трех дней, но в разные периоды активизации. Однако наличие «старой» (возможно, полученной за месяцы и даже годы до момента оценки) высокоточной карты позволит более надежно вычислить

разность двух карт, аномалии которых созданы веществом, способным проявлять магнитные свойства при акустическом воздействии. Источником акустической эмиссии являются «живущий» разлом и/или микроземлетрясения в коренных породах, созданные накоплением энергии упругой отдачи в микроочагах.

В зоне «живущего» разлома акустическое воздействие и, соответственно, разностное магнитное поле по модулю будут больше. При отсутствии «живущих» разломов или в случаях, когда их воздействие не регистрируется на исследуемой площади (например, оцененное по суточному мониторингу на двух удаленных на концы площади исследования сейсмографов), способ может быть использован при слабой суточной активизации коренных пород.

Выделенные по разностной карте контуры аномалии переносятся на карту магнитного поля, и производится количественная интерпретация аномалий для оценки глубины залегания нижней крошки (подшвы) россыпного пласта. Далее по редкой сети производится опробование (не обязательно по всем аномалиям), и выполняется оценка содержания полезных компонентов россыпного пласта. Аномалии полезных компонентов определяются по превышению их содержания над фоном на 1—3 ошибки определения их концентрации.

В результате производятся локализация перспективных на обнаружение новых россыпных залежей участков, предварительное оконтуривание обнаруженных залежей, происходят сокращение объемов опробования, экономия времени полевых работ и, как следствие, значительное уменьшение стоимостных показателей геологоразведочных работ.

Разработка теории и методики поисков требует комплексных исследований: задания моделей искомого объекта и способов их обнаружения, приемников акустической поисковой и мониторинговой станции, методики высокоточной гидромагнитной съемки (погрешность 0,5—1 нТл), проведения моделирования поиска, обнаружения и исследования объектов поиска.

В результате таких исследований может быть разработан прототип методики высокоточной гидромагнитной съемки на шельфе и способов обнаружения, выделения и интерпретации слабых магнитных аномалий, обусловленных россыпными концентрациями тяжелых магнитоактивных минералов.

На рис. 2 показано увеличение процентного содержания фракций тяжелых минералов после шторма. Отмечается, что полоса высокого процентного содержания расположена в зоне заплеска волн [8].

Этот пример подтверждает возможность использовать магнитную съемку по повторным наблюдениям для поиска россыпей по изменению магнитных свойств рыхлых отложений во время активизации разломов и/или шторма, заплеска волн, землетрясений и других геодинамических процессов.

Тем не менее дальнейшее изучение минерально-сырьевых ресурсов твердых полезных ископаемых

в ближне-среднесрочной перспективе, определяющее значимую роль шельфов в геолого-экономических структурах нашей страны, в первую очередь арктических и дальневосточных, требует совершенствования существующих и разработки новых эффективных и экономичных методик и технических средств (особенно применяемых на ранних этапах работ), основанных на современных достижениях геофизических исследований. Можно надеяться, что данный метод позволит увеличить эффективность поисков и оценки параметров россыпных месторождений ценных минералов на шельфах России.

Работа выполнена в рамках реализации федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014—2020 годы», уникальный идентификационный номер проекта — RFMEF157614X0016.

Литература

1. Временные методические рекомендации по региональным геолого-геофизическим работам и поискам россыпей олова, золота и алмазов на шельфе арктических и дальневосточных морей СССР. — Л., 1985.
2. Иванова А. М., Смирнов А. Н., Ушаков В. И. Минерально-сырьевая база твердых полезных ископаемых шельфовых областей России // Горный журн. — 2012. — № 3. — С. 42—49.
3. Магниторазведка: справочник геофизика. 2-е изд., перераб. и доп. / В. Е. Никитский, Ю. С. Глебовский (ред.). — М.: Недра, 1990. — 470 с.
4. Смирнов А. Н., Иванова А. М., Пашковская Е. А. Подводные месторождения твердых полезных ископаемых в шельфовых областях России // Горный журн. — 2013. — № 4. — С. 51—58.
5. Смирнов А. Н., Ушаков В. И., Крюков В. Д. Резерв минерально-сырьевой базы олова на шельфе арктических морей России // Минеральные ресурсы России: Экономика и управление. — 2008. — № 6. — С. 15—21.
6. Спорыхина Л. В., Орлова Н. И., Петровичев А. А. Методика поисков и прогнозирования полигенных россыпей олова и золота // Руды и металлы. — 1996. — № 3. — С. 31—38.
7. Спорыхина Л. В., Патык-Кара Н. Г., Орлова Н. И., Петровичев А. А. Россыпи зон тектонических уступов — важнейший тип крупных и уникальных месторождений. — М., 1997. — 46 с. — (Геологические методы поисков, разведки и оценки месторождений твердых полезных ископаемых: Обзор / ЗАО «Геоинформмарк»).
8. Шельфовая область Японского моря: Геология и минерагения / Под ред. В. И. Ушакова. — СПб.: ВНИИОкеангеология, 2005. — 137 с.