

А.А. Мухарёв, С.С. Кубрин

МАРКШЕЙДЕРСКОЕ И НАВИГАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАЗРАБОТКИ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ НА ШЕЛЬФЕ АРКТИКИ

Описано решение задач маркшейдерского и навигационного обеспечения разработки полезных ископаемых на арктическом шельфе с использованием передовых достижений науки и техники, таких как морская сейсморазведка с помощью датчиков нового поколения и высокоточное позиционирование с использованием фазовых измерений. Данная задача актуальна в настоящее время и полностью соответствует приоритетам государственной политики в области социально-экономического развития Арктики, а также целям устойчивого обеспечения экономики страны запасами минерального сырья и геологической информацией о недрах.

Ключевые слова: Арктика, шельф, сейсморазведка, сейсмоакустическая разведка, государственная программа, маркшейдерское обеспечение, навигационное обеспечение, полезные ископаемые.

Постановлением № 366 Правительства Российской Федерации от 21 апреля 2014 г. принята Государственная программа Социально-экономического развития Арктической зоны Российской Федерации на период до 2020 г., которая предусматривает развитие ресурсной базы Арктической зоны Российской Федерации за счет использования перспективных технологий, предусматривающих мероприятия по изучению и освоению ресурсов Арктики. Государственная программа Российской Федерации «Развитие науки и технологий» включает в себя федеральную целевую программу «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы», предусматривающую мероприятия по изучению и освоению ресурсов Арктики. В целях устойчивого обеспечения экономики страны запасами минерального сырья и накопления геологической информацией о недрах Государственной программой Российской Федерации «Воспроизводство и использование природных ресурсов»

предполагается повышение геологической изученности территории Российской Федерации и ее континентального шельфа и Арктики. В рамках решения этой задачи будет обеспечена реализация комплекса взаимосвязанных мероприятий по проведению региональных геолого-геофизических и геолого-съемочных работ, созданию государственной сети опорных геолого-геофизических профилей, параметрических и сверхглубоких скважин, проведению работ специального геологического назначения, осуществлению гидрогеологической, инженерно-геологической и геоэкологической съемки, получению и обеспечению сохранения геологической информации. Геологическим картографированием предусматривается создание комплектов геологических карт третьего поколения (Госгеолкарта-1000/3). По континентальному шельфу в работу будут вовлекаться в основном площади, для которых Госгеолкарта-1000/3 составляется впервые и, в меньшем объеме, пересоставляются листы новой серии.

В рамках реализации мероприятия «Модернизация, проектирование и

строительство научно-исследовательских судов и технологического оборудования для работ в Мировом океане, а также в пределах континентального шельфа, Арктики и Антарктики» планируется осуществление модернизации 4 научно-исследовательских судов, а также строительства 2 новых научно-исследовательских судов. Развитие научной и технической базы закрепит конкурентные преимущества Российской Федерации по проведению геолого-разведочных работ в Мировом океане и на континентальном шельфе, позволит активизировать работы по оценке ресурсного потенциала и запасов железомарганцевых конкреций и руд благородных и цветных металлов на выделенных участках дна Мирового океана для обеспечения геополитических интересов страны. Предполагается продолжить изучение Северного Ледовитого океана, сбор необходимой батиметрической и геолого-геофизической информации для обоснования расширения внешней границы континентального шельфа Российской Федерации.

Хозяйственное освоение Арктической зоны Российской Федерации строится на следующих принципах:

- максимальная ресурсоэффективность (максимальное использование возможностей извлечения топливно-энергетических и минерально-сырьевых ресурсов);

- максимальное природосбережение (применение наиболее жестких природоохранных и экологических норм, использование наиболее эффективных природосберегающих технологий).

Реализация этих принципов требует проведения широкомасштабных научно-практических и геолого-разведочных работ как для увеличения запасов минерально-сырьевой базы, отработки технологий их извлечения в арктических условиях, так и для соз-

дания наиболее комфортных условий жизни и работы человека в Арктической зоне Российской Федерации, и внедрения передовых российских инновационных технологий.

В прибрежных и международных водах Арктики обнаружены крупнейшие месторождения углеводородов. По имеющимся оценкам, их запасы на севере Ямала, Гыданского полуострова, в Обской и Тазовской губах, на шельфе Карского моря составляют до семи миллиардов тонн.

На акватории Баренцева моря к настоящему времени открыто одиннадцать месторождений нефти и газа. Среди них уникальное – Штокмановское, семь крупных – Ледовое, Лудловское, Мурманское, Долгинское, Приразломное, Медыньское море и Северо-Гуляевское, два средних – Поморское и Северо-Кильдинское и одно мелкое – Варандей-море. На шельфе Карского моря открыты два газоконденсатных месторождения – Русановское и Ленинградское. Оба они относятся к числу уникальных. Обнаружен ряд газовых месторождений в Обской и Тазовской губах. На базе открытых месторождений в ближайшие годы начнется формирование новых нефтегазодобывающих центров России. Моря восточно-арктического шельфа, особенно Восточно-Сибирское и Чукотское, – наименее изученные на всем континентальном шельфе России. Поэтому и геологические модели этой обширной части Российской Арктики, и основанные на них количественные оценки углеводородных ресурсов являются пока приблизительными, но оттого не менее перспективными.

Из всего спектра минеральных ресурсов Арктика в наибольшей степени обеспечена цветными металлами. Россия продолжает освоение и использование Северного морского пути как основной трассы в добывающей ин-

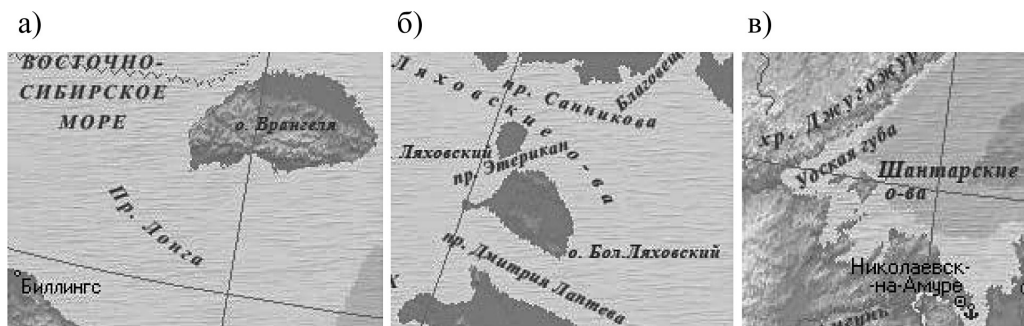


Рис. 1

дустрии высоких широт. Основными его пользователями сегодня являются компании, производящие разработку месторождений полезных ископаемых: «Норильский никель», «Газпром», «ЛУКОЙЛ», «Роснефть», «Росшельф», крупнейшие добывающие предприятия Красноярского края, Республики Саха-Якутия и Чукотки. Тенденции последнего времени показывают, что разработка новых месторождений все более тяготеет к северным территориям России. Поэтому потребуются дальнейшее развития Северного морского пути для обеспечения транспортной составляющей при освоении минеральных ресурсов Арктики.

На шельфе и арктических архипелагах установлены запасы стратегически важных для Российской Федерации твердых полезных ископаемых в виде россыпного олова, золота, платины, алмазов, минералов титана, железа, циркония, марганца, и т.д. [1]. Обнаруженные объемы золота в прибрежной зоне России сопоставимы с запасами золотоносных районов континентальной части страны. Запасы стратегически важных твердых полезных ископаемых на Арктическом шельфе составляют: золото 205,8 т, минералы титана, железа, циркония (Ti, Fe, Zr, Fe+TiO₂) 19,5 млн т, олово 132 тыс. т [1]. Особый интерес представляет собой шельф Восточно-Сибирского моря (Валькарыйский район),

расположенное здесь Энмакайское поле [2] включает несколько месторождений в лагуне Рыпильхин и в проливе Лонга (рис. 1, а). Запасы одного из которых составляют более 1,5 т с большим содержанием золота от 2 до 7,5 г/м³ при мощности золотосодержащего слоя 50–70 см является перспективным. Крупная, с содержанием золота до 1,1 г/м³, россыпь Рыпильхин прослеживается в проливе Лонга до глубин 35 м.

Основные запасы олова сосредоточены в районе Восточно-Сибирского моря (65%). Главным оловоносным районом является Ляховский, расположенный на севере острова Большой Ляховский (рис. 1, б). Залежи находятся на 30–40 м под землей в акватории с глубиной до 10 м.

Перспективная к промышленному освоению россыпь платины на шельфе Российской Федерации находится у острова Феклистова архипелага Шантарские острова Охотского моря (рис. 1, в). Содержание платины в руде оценивается до 0,5 г/м³ (в среднем 0,112 г/м³) [2], залегающей в 10 м под землей в морской акватории с глубиной от 20 до 25 м.

Перечисленные месторождения стратегически важных минералогических ресурсов представляют промышленный интерес. Для подготовки их к комплексному освоению в ближайшем будущем требуется детальная геолого-

разведка. Технологии морской региональной и поисковой сейсморазведки разработаны и широко применяются. В российской Федерации лидерами в этом направлении являются ВНИИ Океангеология, Морская арктическая геологоразведочная экспедиция, «Севморгео», «Сейсмо-Шельф», «Геонод Разведка» и др. организации. Отечественное оборудование для морской региональной и поисковой сейсморазведки представлено продукцией ОКБ Океанологической техники РАН. В основном для поисковой морской сейсморазведки методом отраженной волны используют сейсмокосы, для более детальной, площадной сейсморазведки методом преломленной волны используют сеть расставленных на дне сейсмических датчиков, что позволяет уточнить строение и нарушенность массива горных пород и определить их физико-механические свойства. Площадная сейсморазведка на суше и на море применяется для оценки и объемного картографирования месторождений жидких углеводородов. Однако, для детализации геологических, литологических, тектонических и дру-

гих особенностей месторождений твердых полезных ископаемых этого недостаточно.

Более перспективным геофизическим методом изучения свойств, строения, состояния и особенности массива горных пород является анализ его сейсмоакустической эмиссии. В этом случае можно получить информацию о прочности, пористости, твердости пород и рудных тел. Частотный диапазон сейсмоакустической эмиссии массива горных пород значительно более широк и соответственно более информативен, чем сейсмической. Для регистрации сейсмоакустических волн и последующего анализа состояния массива в Институте проблем комплексного освоения недр Российской академии наук (ИПКОН РАН) была разработана технология сейсмоакустического просвечивания массива горных пород, включающая разработанные и апробированные методики проведения наблюдений, позволяющая детально изучить геологические и стратиграфические особенности, физико-технические свойства и параметры массива горных пород [3–6]. Созданные в рам-

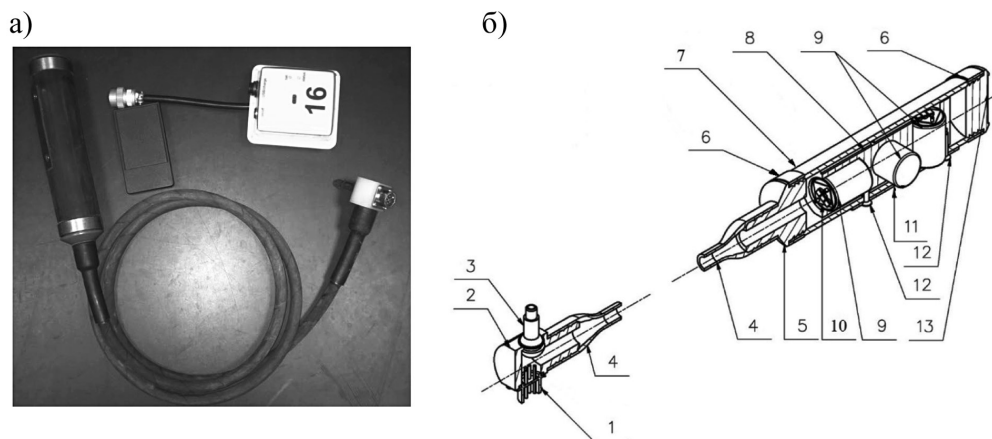


Рис. 2. Сейсмостанция беспроводная шахтная (а); трехкомпонентный зонд (б): 1 – разъем для подключения регистратора; 2 – корпус разъема и ниппеля; 3 – ниппель; 4 – термоусадочная трубка; 5 – заглушка; 6 – стальное кольцо; 7 – резиновая трубка; 8 – корпус датчиков; 9 – датчики GS-20DX; 10 – плата диодной защиты; 11 – крепежная пластина; 12 – винт А2; 13 – заглушка

ках технологии сейсмоакустического просвечивания технические средства (рис. 2) включают трехкомпонентный сейсмоакустический зонд с возможностью измерять эмиссию массива в частотном диапазоне до 2000 Гц и автономный трехканальный регистратор.

Аппаратура рассчитана на непрерывную автоматическую регистрацию и запись сигнала трехкомпонентными сейсмоакустическими приемниками. Регистратор обладает 24 разрядным АЦП и 16 Гигабайтным объемом памяти, что позволяет вести непрерывную запись сигнала не менее 16 часов. Вес регистратора составляет около 350 г, вес зонда не превышает 1,3 кг. В ходе исследований предохранительного целика на руднике «Мир» с помощью указанной технологии и аппаратуры были определены свойства и состояние целика, выявлены очаги его наибольшей нарушенности. Дополнительные исследования на шахтах Заполярная, Воркутинская, им. С.М. Кирова

по выявлению областей тектонических нарушений подтвердили эффективность технологии. Разработанная технология и комплект оборудования может быть применен для детальных донных сейсмоакустических изыскательских работ по определению состава, нарушенности, физико-механических свойств массива пород подводного месторождения твердых полезных ископаемых.

Привязка геодезических координат (рис. 3) подводного сейсмоакустического полигона должна осуществляться с помощью гидроакустической навигационной системы [7]. В этом случае каждый подводный сейсмоакустический датчик оснащается гидроакустическим маяком-ответчиком, расположение которого определяется относительно судна. Для определения местоположения судна использование спутниковых систем навигации с дифференциальными поправками, с точностью определения координат 1–2 м недостаточно.

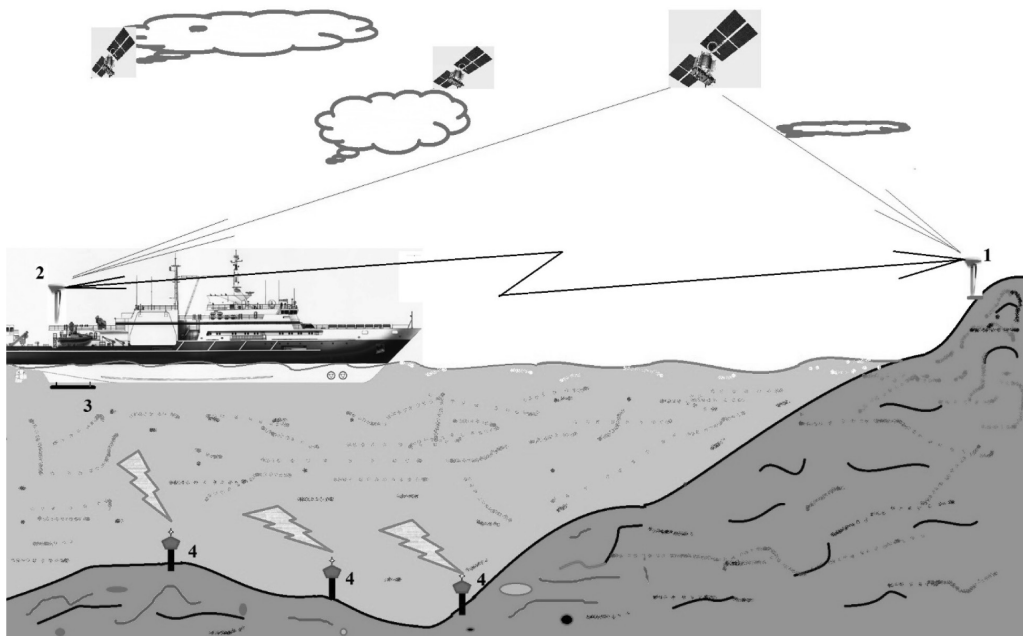


Рис. 3. Маркшейдерское и навигационное обеспечение подводного сейсмоакустического полигона

Необходимую точность дает технология оперативного позиционирования движущихся объектов, разработанная «КП Альтаир-1» [8, 9] с использованием фазовых измерений сигналов. Испытания указанной технологии, проведенные в 2012 г., в том числе на территории ИПКОН РАН, показали, что ошибки в определении координат в плане не превышают 1 см, по высоте 2 см, что удовлетворяет требованиям, предъявляемым к точности проведения маркшейдерских работ полигонометрическими ходами 4-го класса [10]. Комплекс технических средств представляется в виде Системы оперативного позиционирования (СОП) на основе GPS/GLONASS, состоящего из двух или более приемных модулей (рис. 4). Один приемный модуль размещается на точке с известными координатами, второй приемный блок размещается на судне в месте размещения корабельного комплекта гидроакустической навигационной системы.

Технические характеристики:

- погрешность определения координат в плане $1 \text{ см} + 1 \text{ ppm } \Delta_p$;
- погрешность определения координат по высоте $2 \text{ см} + 2 \text{ ppm } \Delta_p$;
- наибольшее расстояние между приемниками $\Delta_p - 50 \text{ км}$;
- габариты: $130 \times 200 \times 60 \text{ мм}$.

Таким образом, маркшейдерское и навигационное обеспечения детальной сейсмоакустической разведки для изу-



Рис. 4. Система оперативного позиционирования движущихся объектов

чения свойств, строения, состояния и особенности массива горных пород требуют использования двух сочлененных навигационных систем – гидроакустической навигационной системы и спутниковой системы оперативного позиционирования движущихся объектов. Практическая реализация рассмотренной задачи обеспечения разведки и дальнейшей разработки твердых полезных ископаемых на арктическом шельфе, соответствует приоритетам государственной политики и стратегическим интересам Российской Федерации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванова А.М., Смирнов А.Н., Ушаков В.И. Минерально-сырьевая база твердых полезных ископаемых шельфовых областей России: ресурсная значимость, перспективы наращивания и освоения // Горный журнал. – 2012. – № 3. – С. 42–49.

2. Смирнов А.Н., Иванова А.М., Пашковская Е.А. Подводные месторождения твердых полезных ископаемых в шельфовых областях России // Горный журнал. – 2013. – № 11. – С. 51–58.

3. Рубан А.Д., Захаров В.Н., Аверин А.П., Вартанов С.А. Программный комплекс итерационного линейного восстановления строения и нарушения угольного пласта на основе информативных параметров при сейсмодосмотре // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2010. – № 3. – С. 177–182.

4. Захаров В.Н., Аверин А.П., Вартанов С.А. Анализ алгоритмов лучевой томографии для прогноза нарушения

выемочного столба // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2010. – № 3. – С. 183–190.

5. Аверин А.П., Зубков В.М. Система контроля состояния массива горных пород при подземных горных работах. Патент на полезную модель RUS 122119 от 05.05.2012.

6. Кубрин С.С. Комплексный синтезирующий геофизический мониторинг горного массива // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2012. – № 5. – С. 85–92.

7. http://www.edboe.ru/products/gans_ukb_np.htm

8. Базовая технология создания БНК системы координатного и временного позиционирования. Руководство по эксплуатации. ФШРА 468353.001РЭ.

9. <http://www.altair1.ru/prod/sop/>

10. Инструкция по производству маркшейдерских работ. РД 07-603-03. М.: – ФГУП «НТЦ по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России». 2004. – 117 с. **ГИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Мухарёв Александр Александрович – программист, e-mail: sailorcat-00@mail.ru,

Кубрин Сергей Сергеевич – доктор технических наук, профессор,

зав. лабораторией, e-mail: s_kubrin@mail.ru,

Институт проблем комплексного освоения недр РАН.

UDC 622.1:656.61:519.7

SURVEYING AND NAVIGATION SUPPORT THE DEVELOPMENT OF SOLID MINERALS ON THE ARCTIC SHELF

Mukharev A.A.¹, Programmer, e-mail: sailorcat-00@mail.ru,

Kubrin S.S.¹, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Laboratory,

e-mail: s_kubrin@mail.ru,

¹ Institute of Problems of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia.

The article describes the tasks of surveying and navigation support mining in the Arctic shelf using advanced science and technology, such as marine seismic survey with the help of a new generation of sensors and high-precision positioning using phase measurements. This problem is relevant at the moment and is fully consistent with the priorities of the state policy in the field of socio-economic development in the Arctic, as well as the objectives of sustainable ensure the country's economic reserves of minerals and geological information on mineral resources.

Key words: arctic, sea shelf, seismic exploration, seismoacoustic exploration, government program, surveying provision, navigation provision, minerals.

REFERENCES

1. Ivanova A.M., Smirnov A.N., Ushakov V.I. *Gornyy zhurnal*. 2012, no 3, pp. 42–49.
2. Smirnov A.N., Ivanova A.M., Pashkovskaya E.A. *Gornyy zhurnal*. 2013, no 11, pp. 51–58.
3. Ruban A.D., Zakharov V.N., Averin A.P., Vartanov S.A. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2010, no 3, pp. 177–182.
4. Zakharov V.N., Averin A.P., Vartanov S.A. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2010, no 3, pp. 183–190.
5. Averin A.P., Zubkov V.M. Patent RUS 122119, 05.05.2012.
6. Kubrin S.S. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2012, no 5, pp. 85–92.
7. http://www.edboe.ru/products/gans_ukb_np.htm
8. *Bazovaya tekhnologiya sozdaniya BNK sistemy koordinatnogo i vremennogo pozitsionirovaniya. Rukovodstvo po ekspluatatsii*. FSHRA 468353.001RE (The basic technology for creating BNK coordinate system and the positioning time. Operating Instructions. FSHRA 468353.001RE).
9. <http://www.altair1.ru/prod/sop/>
10. *Instruktsiya po proizvodstvu marksheyderskikh rabot. RD 07-603-03* (Instructions for mine surveys. RD 07-603-03), Moscow, FGUP «NTTs po bezopasnosti v promyshlennosti Gosgortekhnadzora Rossii». 2004, 117 p.