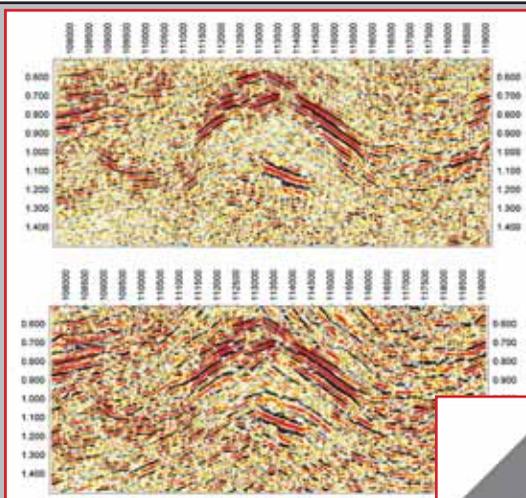




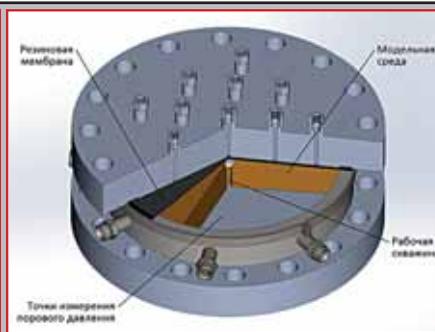
# 6.2023 Геофизика



▲ Фрагмент обработки южной части профиля 020601 по стандартной методике (а), с применением новой технологии (б)

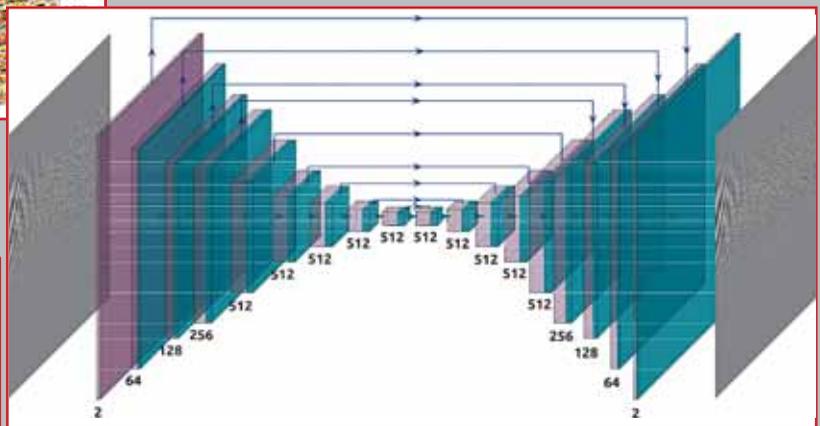


▲ Фрагмент геологической карты с положением открытого в 2022 году в Якутии золотосеребряного месторождения Роман федерального значения

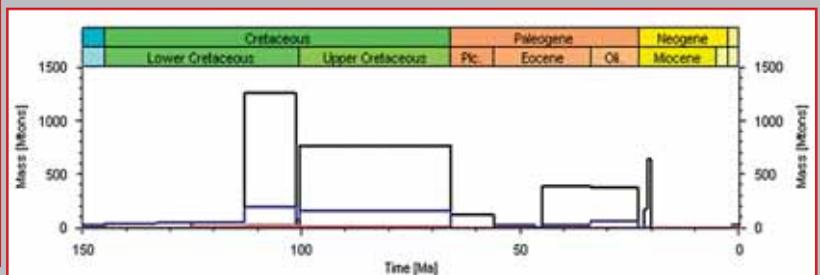


▲ Схема экспериментальной установки ▼

Архитектура полносверточной нейронной сети NDM-net – сети преобразования данных в частотной области по результатам расчета на грубой сетке (слева) в данные с подавленной числовой дисперсией (справа). Количество каналов (глубина) в соответствующих слоях



▼ Постатная кривая аккумуляции углеводородов в отложениях юрского возраста



- ▨ Аккумуляции УВ в отложениях верхней юры
- ▨ Аккумуляции УВ в отложениях средней юры

1

2

3

4

5

6



# АЭРОГЕОФИЗИЧЕСКИЕ УСЛУГИ

---



АЛМАЗЫ



ЗОЛОТО



ВОДА



ПОЛИМЕТАЛЛЫ

«Загляни в глубь природы, и тогда ты все поймешь лучше»  
Альберт Эйнштейн

**СОДЕРЖАНИЕ**

**А.С. Смирнов, В.В. Рябков**  
Повышение геологической информативности сейсморазведочных данных, полученных в условиях сложнодислоцированных осадочных комплексов Урала и Таймыра ..... 2

**Е.В. Зенченко, П.Е. Зенченко, В.А. Начев, С.Б. Турунтаев, Т.К. Чумаков**  
Исследования взаимодействия трещины гидроразрыва с протяженным нарушением массива в лабораторных экспериментах ..... 9

**Т.Р. Адиев, И.П. Коротков**  
Вибросейсмическая полевая методика независимого одновременного возбуждения нескольких управляемых Q-свилов для совместного увеличения производительности работ и улучшения качества данных ..... 16

**А.С. Акуленко, А.В. Горшенин, Т.Р. Ганиев, Ю.В. Воробьев**  
Опыт применения волоконно-оптических распределенных систем при выполнении работ ВСП-НВСП ..... 22

**Е.М. Елисева**  
Анализ эффективности метода газовых флюидных коэффициентов при интерпретации газового каротажа на месторождении Республики Башкортостан ..... 28

**М.С. Соколова, И.Н. Керусов, А.В. Аристархов, И.Д. Агапитов, А.О. Шуваев, К.В. Мусихин, В.Н. Колосков, А.Г. Алексеев**  
Роль аномально высокого порового давления в формировании углеводородной системы и его влияние на перспективы нефтегазонасыщенности среднекаспийского НГБ ..... 33

**К.А. Гадильшина, В.В. Лисица, К.Г. Гадильшин, Д.М. Вишнеvский**  
Алгоритм подавления численной дисперсии в частотной области на основе нейронной сети ..... 44

**Д.А. Орехова, И.В. Попова, С.М. Коротаев**  
Кластеризация сейсмоактивных зон средней котловины озера Байкал по совокупности геофизических данных ..... 51

**В.А. Шевченко, А.М. Красникова, И.Н. Модин, С.А. Ерохин, А.Д. Скобелев**  
Геофизические исследования курганного некрополя Сельцо ..... 58

**М.А. Суконкин, П.Ю. Пушкарев**  
Анализ синтетических магнитотеллурических данных, рассчитанных для геоэлектрической модели с приповерхностными неоднородностями ..... 65

**И.В. Яковлев, Е.Р. Ахиярова, К.А. Савченко**  
Совместный анализ азимутальных атрибутов и энергии дифракции для прогноза перспектив в доюрском комплексе Нюрольской СФЗ Западной Сибири ..... 70

**А.С. Потанин, Н.В. Чварова, В.М. Керцман, Е.В. Мойланен**  
Анализ эффективности стадийных поисковых геолого-геофизических работ при открытии новых золоторудных месторождений ..... 78

**CONTENTS**

**A.S. Smirnov, V.V. Ryabkov**  
Making better geological sense of seismic data acquired in the settings of complexly dislocated sedimentary rocks of the Urals and Taimyr ..... 2

**E.V. Zenchenko, P.E. Zenchenko, V.A. Nachev, S.B. Turuntayev, T.K. Chumakov**  
Study of interaction of a hydraulic fracture with an extended disturbance in a massif in laboratory experiments ..... 9

**T.R. Adiev, I.P. Korotkov**  
Independent simultaneous vibroseis acquisition method with multiple controllable Q-sweeps for both productivity increasing and data quality enhancing ..... 16

**A.S. Akulenko, A.V. Gorshenin, T.R. Ganiev, Yu.V. Vorobyev**  
Experience of using fibre optic distributed acoustic sensing systems in VSP-OVSP survey ..... 22

**E.M. Eliseeva**  
Efficiency analysis of the gas wetness ratio method for gas logging interpretation at the field in the Republic of Bashkortostan ..... 28

**M.S. Sokolova, I.N. Kerusov, A.V. Aristarkhov, I.D. Agapitov, A.O. Shuvaev, K.V. Musikhin, V.N. Koloskov, A.G. Alekseev**  
Overpressure impact on the petroleum system elements and oil-gas prospects for the Middle Caspian Basin ..... 33

**K.A. Gadylishina, V.V. Lisitsa, K.G. Gadylishin, D.M. Vishnevsky**  
Suppressing numerical dispersion algorithm based on a neural network in the spectral domain ..... 44

**D.A. Orekhova, I.V. Popova, S.M. Korotaev**  
Clustering of seismically active zones of the middle basin of lake Baikal based on a set of geophysical data ..... 51

**V.A. Shevchenko, A.M. Krasnikova, I.N. Modin, S.A. Erokhin, A.D. Skobelev**  
Geophysical studies of Seltso kurgan necropolis ..... 58

**M.A. Sukonkin, P.Yu. Pushkarev**  
Analysis of synthetic magnetotelluric data, calculated for a resistivity model with near-surface inhomogeneities ..... 65

**I.V. Yakovlev, E.R. Akhiyarova, K.A. Savchenko**  
Joint analysis of azimuthal attributes and diffraction energy for predicting perspectives in the pre-Jurassic complex within Nyural structural facial zone of Western Siberia ..... 70

**A.S. Potanin, N.V. Chvarova, V.M. Kertsman, E. Moilanen**  
Analysis of the effectiveness of stage-by-stage prospecting geological and geophysical works in the discovery of new gold deposits ..... 78

**ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР:** Л.А. Золотая. **ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛ. РЕДАКТОРА:** А.В. Филиппович  
**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:** В.Ю. Абрамов, Ю.И. Блох, М.Л. Владов, Е.А. Давыдова, М.С. Денисов, Г.М. Золоева, С.А. Кириллов, А.С. Лаврик, И.Н. Модин, Е.Е. Поляков, С.Н. Птецов, В.И. Рыжков, Р.Б. Сержантов, В.П. Цирульников, Р.А. Шакиров, В.А. Шевнин

**РЕДАКЦИОННО-ИЗДАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР ЕАГО:**

109029, г. Москва, Михайловский проезд, д. 3, стр. 66  
Тел. (495) 952-47-15, тел/факс (495) 952-44-79  
E-mail: zolotaya@eago.ru; https://geophysics.su/  
Свидетельство о регистрации журнала № 0110923 от 21.07.1993  
ISSN 1681-4568

**ООО «ПолиПРЕСС»:**

Н.А. Сапожникова – компьютерная верстка; И.Г. Чижикова – корректура  
170041, г. Тверь, Комсомольский пр-т, д. 7, пом. II  
Тел/факс (4822) 55-16-76  
E-mail: polypress@yandex.ru; www.poly-press.ru  
Отпечатано в ООО «ПолиПРЕСС». Тираж 110 экз. Заказ № 8317

Ответственность за подбор и изложение фактов в статьях несут авторы. Редколлегия может публиковать статьи, не разделяя точки зрения авторов.

DOI 10.34926/geo.2023.69.91.012

УДК 550.837.6

## АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ СТАДИЙНЫХ ПОИСКОВЫХ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ РАБОТ ПРИ ОТКРЫТИИ НОВЫХ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

А.С. Потанин<sup>1</sup>, Н.В. Чварова<sup>1</sup>, В.М. Керцман<sup>2</sup>, Е.В. Мойланен<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ООО «Нордголд Менеджмент». 125212, Россия, г. Москва, Ленинградское ш., д. 39, стр. 2; e-mail: Alexander.Potantin@nordgold.com, Natalia.Chvarova@nordgold.com

<sup>2</sup> ООО «Геотехнологии». 107031, Россия, г. Москва, ул. Рождественка? д. 5/7, стр. 2, пом. V, комн. 18; e-mail: info@geotechnologies.ru

<sup>3</sup> ИПУ РАН. 117997, Россия, г. Москва ул. Профсоюзная, д. 65; e-mail: moilanen@mail.ru

**Аннотация.** Стадийность геолого-поисковых работ заключается в переходе от общих поисков и, в случае положительных перспектив, к крупномасштабным работам, и заверочному бурению. Подчеркивается, что благодаря стадийности поиска удалось избежать дополнительных издержек. Весь комплекс работ, от аэрогеофизики до получения заключения о запасах и постановке на баланс, занял около 5 лет. Работы завершились открытием очень крупного золотого месторождения Роман и выделением ряда перспективных участков для последующих наземных заверочных работ специалистами компании Nordgold. Подтвержденные запасы золота составляют не менее 143 тонн.

**Ключевые слова.** Аэрогеофизика, комплекс «Экватор», геохимия, буровые работы, месторождение Роман.

## ANALYSIS OF THE EFFECTIVENESS OF STAGE-BY-STAGE PROSPECTING GEOLOGICAL AND GEOPHYSICAL WORKS IN THE DISCOVERY OF NEW GOLD DEPOSITS

A.S. Potanin<sup>1</sup>, N.V. Chvarova<sup>1</sup>, V.M. Kertsman<sup>2</sup>, John Moilanen<sup>3</sup>

<sup>1</sup> LLC Nordgold Management. 39, bld. 2, Leningradskoe sh., Moscow, Russia, 125212; e-mail: Alexander.Potantin@nordgold.com, Natalia.Chvarova@nordgold.com

<sup>2</sup> LLC Geotechnologies. 5/7, bld. 2, pom. 5, komn. 18, Rozhdestvenka str., Moscow, Russia, 107031; e-mail: info@geotechnologies.ru

<sup>3</sup> IPU RAS. 65, Profsoyuznaya str., Moscow, Russia, 117997; e-mail: moilanen@mail.ru

**Abstract.** There are several stages of geological survey: general survey, in the case of positive prospects, large-scale survey and well-drilling. We can avoid additional costs just using these stages consistently. The whole range of works, from airborne geophysics to receiving conclusions on reserves and putting on balance, took about 5 years. The whole work ended with the discovery of a very large gold deposit named Roman and the identification of a number of targets for ground survey by Nordgold specialists. Confirmed gold reserves are at least 5 Moz.

**Key words.** Airborne geophysics, complex Equator, geochemistry, well-drilling, Roman deposit.

### Введение

Вопросы поиска золоторудных месторождений с середины XX в. всегда были в зоне пристального внимания Министерства геологии СССР. Первое руководство по методам разведки и подсчету запасов золоторудных месторождений было выпущено в 1956 г. и оказало существенное влияние на повышение эффективности разведочных работ. В ЦНИГРИ и других организациях Мингео СССР был выполнен значительный объем работ по созданию рациональной методики разведки и опробования золоторудных месторождений. В 1970 г. вышли в свет «Методические указания по разведке и геологопромышленной оценке месторождений золота», где в краткой форме рассмотрены основные вопросы методики разведки коренных и россыпных месторождений золота. В 1974 г. появилось второе дополнительное издание методических указаний, в котором были учтены многие замечания и предложения, поступившие от различных организаций Мингео СССР и Минцветмета СССР. Данная работа сыграла положительную роль в практике разведки и подсчета запасов месторождений золота. Основная задача каждой стадии разведки – оценка промышленного значения месторождения, степень обоснованности которой зависит от объемов и методов работ.

Фактически полученные рекомендации сводились в основном к методике последовательного изучения новых территорий поэтапно – от мелкомасштабных к крупномасштабным работам. Этот подход использовался при открытии большинства уникальных месторождений на территории бывшего Советского Союза. Детальными поисковыми работами (масштаба 1 : 50 000 и крупнее) занимались территориальные управления, располагавшие необходимыми полномочиями и производственной базой. Именно на этой стадии перспективные ресурсы превращались в реальные запасы. Сегодня мелкие частные компании не заинтересованы в детальном опосковании больших территорий, так как за лицензии приходится платить существенные средства. Детальные геолого-геофизические работы часто носят хаотичный характер.

В настоящей статье обсуждаются вопросы эффективности стадийных поисковых геолого-геофизических работ при открытии новых золоторудных месторождений, выполненных компанией «Нордголд». Эта золотодобывающая компания основана в 2007 г., сфокусирована на перспективных проектах в России, Казахстане, Гвинее и Буркина-Фасо. «Нордголд» зарекомендовала себя как мировой лидер крупномасштабных золотодобывающих предприятий. За последние годы компании

благодаря большому объему выполненных работ и полученному опыту комплексных исследований удалось восстановить эффективную последовательность проведения геолого-разведочных работ. После обнаружения новых месторождений Таборное и Гросс, которые входят в золотодобывающий кластер в Олекминском районе Республики Саха (Якутия), были предприняты попытки найти новые объекты-аналоги.

### О геологии района работ

Рудовмещающими породами известных месторождений Таборное и Гросс являются метасоматически измененные красноцветные песчаники в архейском фундаменте. Возраст оруденения – поздняя юра, около 140 млн лет, совпадает с временем активизации Алданского щита. Основными рудоконтролирующими структурами района являются региональные зоны разломов: субмеридиональный Токкинский (Т) и субширотный Кондинский (К) (рис. 1).

Целевые объекты месторождений приурочены к мощной тектонической зоне брекчирования. Гене-

зис объектов – гидротермально-метасоматический. Выявлено, что породы с ярко выраженной калиевой специализацией являются рудоносными. По форме они представляют собой дайкообразные тела основного состава, которые выделены на геологической карте и в материалах электроразведочных и магнитных работ. Роль подобных магматитов в формировании золотых месторождений, наряду с участками метасоматических изменений, отмечалась еще классиками советской геологии Ф.И. Вольфсоном и В.Н. Котляром [Вольфсон, 1953; Котляр, 1955; Кучеренко, 2013].

Опираясь на первые результаты проведенных комплексных геолого-геофизических исследований, была составлена прогнозно-поисковая модель, согласно которой были проведены поисковые работы западнее месторождения Таборное, в породах архейского фундамента, где также присутствуют признаки, благоприятные для обнаружения новых месторождений.

В табл. 1 приведена программа стадийности геолого-разведочных работ, успешно опробованная на лицензионных участках.

Таблица 1

### Программа геолого-разведочных работ

Стадия	Содержание и сроки работ
0. Выбор участка для поисковых работ	Изучение фондовых материалов и геологических отчетов прошлых лет
	Выбор площади с использованием составленной прогнозно-поисковой модели
	Аэрогеофизические исследования (электроразведка, гамма-спектрометрия и магнитометрия)
1. Площадные поисковые наземные работы	Геохимические поиски по первичным и вторичным ореолам рассеяния
	Геологические маршруты
	Наземные геофизические работы (1-й год)
2. Заверка выявленных перспективных участков (стадия открытия)	Заверочные горнопроходческие работы (канавы)
	РС-бурение на участках, перекрытых чехлом четвертичных отложений
	Бурение единичных колонковых скважин с целью получения промышленных сечений (2-й год)
3. Оценка выявленных объектов бурением	Колонковое бурение по редкой сети для оконтуривания выявленного оруденения в плане и оценки его на глубину, доступную для открытой отработки
	Оценка ресурсного потенциала объекта, а также минералогические исследования
	Предварительная технологическая оценка руд и первый расчет инвестиционной привлекательности выявленного объекта (3-й год)

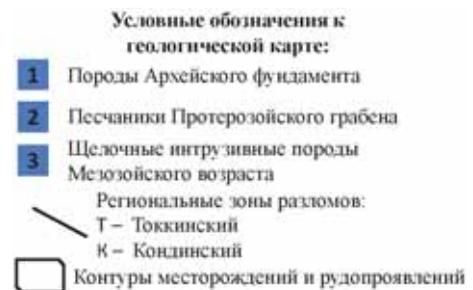
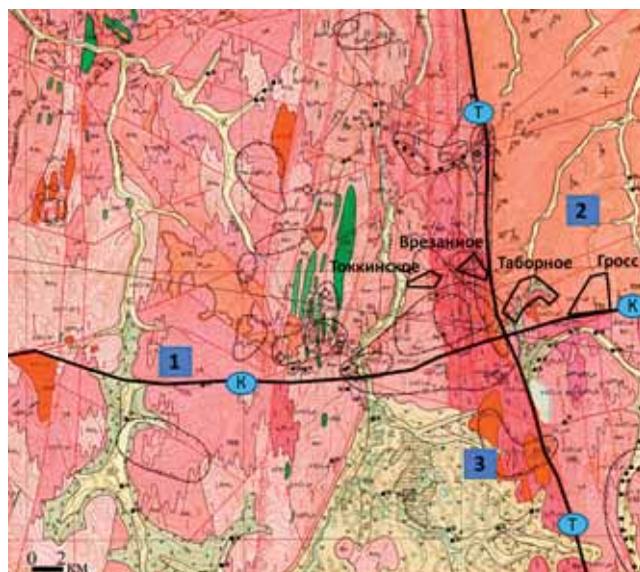


Рис. 1  
Обзорная геологическая карта района работ

**Методика и результаты исследований нулевого этапа стадийности**

На этой стадии геолого-разведочных работ (табл. 1) после изучения фондовых материалов Росгеолфонда и выбора поисковой площади рекомендуется проводить аэрогеофизические исследования различными методами: электроразведкой, гамма-спектрометрией и магнитометрией. Одной из первых была изучена площадь западнее месторождения Таборное, где была выполнена аэрогеофизическая съемка комплексом «Экватор», который содержит каналы аэроэлектроразведки [Инструкция, 1984], аэромагниторазведки [Инструкция, 1981] и аэрогамма-спектрометрии [ИАЕА, 2003].

На этой площади была выполнена аэроэлектро-разведка методом переходных процессов (МПП) и измерениями в частотной области [Волковицкий и др., 2010; Moilanen et al., 2013]. Шаг электрического зондирования геологического разреза вдоль профиля составил 5–7 м. Результаты измерений после обработки во временном и частотном форматах были оформлены в виде карт и разрезов удельных сопротивлений [Керцман и др., 2019; Karshakov, 2020].

Аэромагнитные исследования выполнялись квантовым магнитометром (ГТ-Маг с датчиком Scintrex CS-3) с частотой измерений 1000 раз/сек и чувствительностью 0,0006 нТл/√Гц. Детальный шаг измерений по профилю позволил решить задачу обнаружения слабомагнитных объектов с небольшой горизонтальной мощностью. Точность магнитной съемки составила ±1,6 нТл при горизонтальном градиенте магнитного поля менее 50 нТл/км, что позволило в дальнейшем построить детальные магнитные карты.

Аэрогамма-спектрометрия выполнялась спектрометром, имеющим современный АЦП производства «Парсек» (г. Долгопрудный), полициновые детекторы NaI(Tl) емкостью 32 л. Полный спектр гамма-излучения записывается с шагом 7 кэВ/канал в диапазоне 0,3–3 МэВ. Запись велась отдельно для каждого кристалла емкостью 4 л. Частота регистрации 1 с (около 40 м) вдоль профиля наблюдений. Такая методика регистрации позволила сводить отдельные спектры в единый с энергетическим разрешением по линии 0,662 МэВ (Cs-137) не хуже 9%. При проведении обработки для стабилизации энергетической шкалы использовались естественные пики.

Обработка результатов аэрогамма-спектрометрии выполнялась как по стандартной методике [АГС, 1977; ИАЕА, 2003], так и по площадям «фотопиков» – соответствующих участкам дифференциального спектра амплитуд импульсов при регистрации фотонов ионизирующего излучения [Временные методические, 1990; Керцман и др., 2019]. Вторая методика увеличивает чувствительность по урану в 3 раза, а по торию в 1,8 раза (за счет привлечения дополнительных пиков). Кроме того, регистрация по «фотопикам» позволяет ввести поправку за «свободный» радон-222, которая определяется методом спектральных отношений. Считается, что это основная и практически неустранимая помеха в канале урана при стандартной обработке,

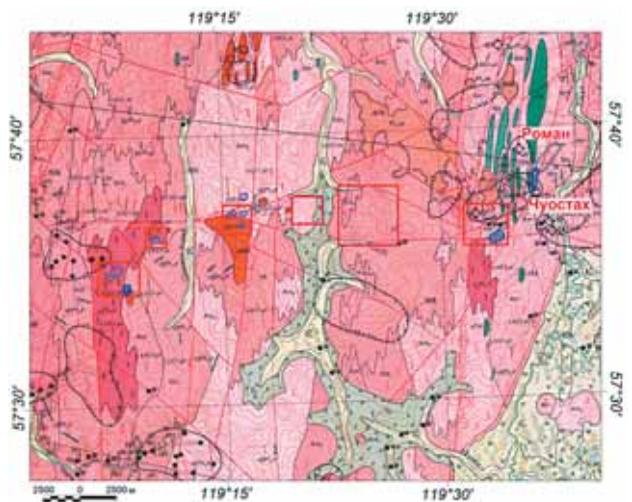


Рис. 2  
Геологическая карта района работ



Рис. 3  
Условные обозначения к рисункам 2–5

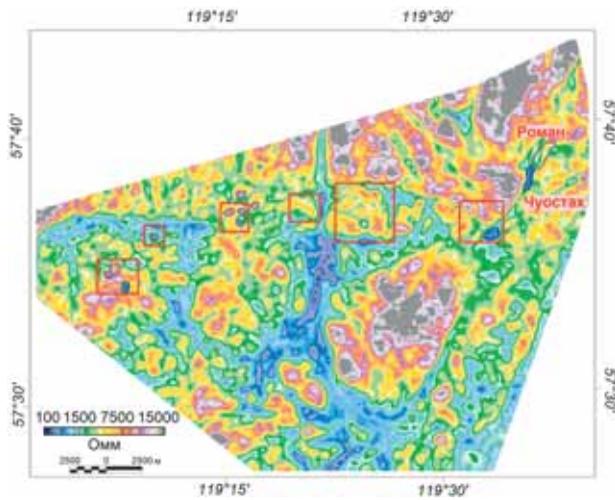


Рис. 4

Карта удельных электрических сопротивлений для интервала глубин 0–300 м. Красными полигонами выделены аномальные объекты, перспективные на рудоносность

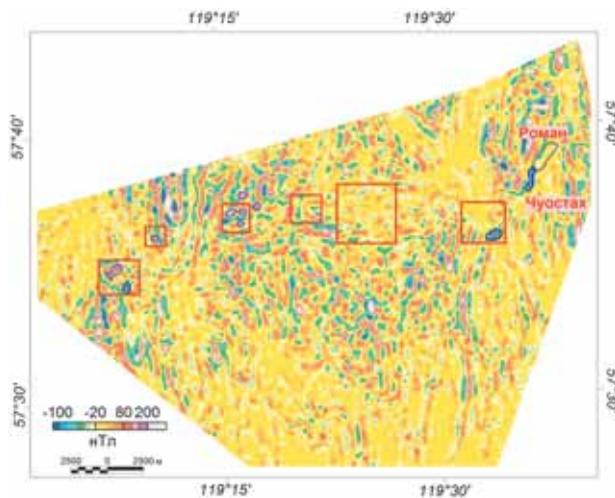


Рис. 5

Карта локальной составляющей аномального магнитного поля построена после применения фильтра Керцмана шириной 700 м. Красными полигонами выделены аномальные объекты, перспективные на рудоносность

особенно если он находится ниже летательного аппарата [Пегоев, 1980; Бабаянц и др., 2015]. Реально эта помеха может быть проявлена в виде дождевых осадков или маломощного снегового покрова. Введение поправки за «радон» позволило получить эту «помеху» в качестве самостоятельного канала и использовать его локальную составляющую для обнаружения золотоурановой минерализации эльконского типа, даже если продуктивные горизонты перекрыты другими породами. Это хорошая альтернатива наземному «радоновому» опробованию, который сейчас редко проводится [Якжин, 1961; Возженков, 2006].

Точность съемки по гамма-спектрометрии составила: 0,15% – К, 0,35 ppm – U, 0,9 ppm – Th. Оценки точности даны для «кларковых» содержаний – 2% К, 2,5 ppm U и 9 ppm Th. Средняя производительность съемки комплексом «Экватор» составила

10 000 пог. км в месяц. Сильно расчлененный рельеф на изученных площадях не являлся принципиальной помехой. Кондиционные аэросъемки удалось выполнить при углах склонов по линии полета до 45°.

Карты удельного электрического сопротивления (рис. 4) и локальной составляющей аномального магнитного поля (рис. 5) имеют ярко выраженные аномалии и позволяют сделать ряд важных выводов по тектонической обстановке изучаемой площади.

Карта удельных электрических сопротивлений (УЭС) для интервала глубин 0–300 м характеризуется высокими значениями, их среднестатистическое составляет 4000 Ом·м, а максимумы достигают 10 000 Ом·м и более. Минимальными значениями УЭС (100–200 Ом·м) характеризуются зоны тектонических нарушений и зоны максимальной гидротермальной проработки, а также области развития четвертичных отложений. Это послужило критерием по получению новых сведений о тектонике исследуемой площади.

Магнитные аномалии исследуемого района имеют сложную структуру. Выделенные локальные магнитные аномалии (рис. 5) создаются, вероятно, выходящими на поверхность и слепыми интрузиями основного состава и, возможно, приповерхностными объектами. Интерпретация материалов аэроэлектро-разведки и магниторазведки позволила наметить несколько площадей, которые могут быть связаны с перспективными рудоносными объектами.

Проведенный анализ аэрогамма-спектрометрических исследований на площади позволил установить высокий коэффициент корреляции между торием и калием (> 0,8). Большой интерес представляют участки с явным отклонением от линии корреляции как в сторону тория, так и в сторону калия. Для обнаружения таких участков использовались расчеты по карте разности центрированных и нормированных величин калия и тория (рис. 6) по формуле [Островский, 1974]:

$$C = \frac{K_i - \bar{K}}{\sigma_K} - \frac{Th_i - \bar{Th}}{\sigma_{Th}},$$

где  $C$  – разность центрированных и нормированных величин калия и тория,  $K_j$ ,  $Th_j$  – измерения калия и тория в  $i$ -й точке измерения,  $\bar{K}$ ,  $\bar{Th}$  – средние значения калия и тория по площади,  $\sigma_K$ ,  $\sigma_{Th}$  – среднеквадратические отклонения калия и тория соответственно, вычисленные по площади.

На карте разности центрированных и нормированных величин калия и тория (рис. 6) на отдельных участках четко проявлено «противоповедение» этих элементов с учетом генетических типов ландшафта, геологическую природу которых предстоит установить последующими геохимическими и горно-буровыми работами.

В результате анализа цифровой модели рельефа были выбраны участки для различных типов ландшафта: аккумулятивный, аллювиально-аккумулятивный, трансэлювиальный, элювиально-автономный [Добровольский, 2020]. Наиболее интересны трансэлювиальный и аллювиально-аккумулятивный ландшафты.

Исходные гистограммы (рис. 7) мономодальны, и средние соответствуют «кларковым» значениям. В то же время разность центрированных и нормированных величин калия и тория бимодальна с ярко выраженной доминантой калия в правой части (рис. 8), что может быть связано с выходами калиевых метасоматитов.

Ландшафтное районирование и последующая обработка с учетом генетических типов ландшафтов позво-

ляют систематизировать геоморфологическую однородность исходных данных. Месторождение Роман и рудопроявление Чуостах наиболее ярко выражены в данной карте (рис. 9, слева), находясь в условиях аллювиально-аккумулятивного ландшафта (рис. 9, справа).

Большая часть перспективных участков данного района выявлена в зоне Кондинского разлома, строение которого было уточнено по геофизическим данным (рис. 1). К западу от месторождения Роман выделены перспективные участки с аналогичными геофизическими характеристиками, на которых в настоящее время выполняются работы 1-й и 2-й стадий. Например, на участке, выделенном в самой западной части площади (рис. 2–6), на отдельных площадях фиксируются аномально высокие содержания калия (более 9%) при содержании тория 7–10 ppm. По данным электроразведки и магнитометрии, в пределах данной области фиксируются локальная магнитная и аномалия пониженных сопротивлений.

**Методика и результаты исследований первого этапа стадийности (табл. 1)**

На площади первого этапа стадийности работ площадью 100 кв. км были выполнены геохимические поиски по вторичным ореолам рассеяния, дополненные геологическими маршрутами 100 пог. км и наземными геофизическими работами (магнитометрия и гамма-спектрометрия) на площади участка 40 кв. км.

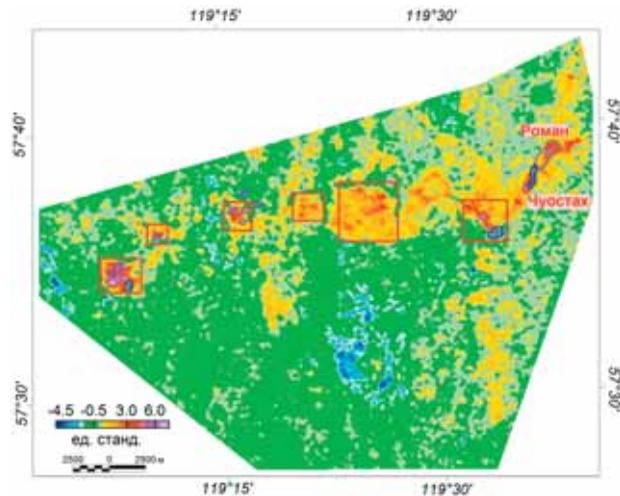


Рис. 6

Карта разности центрированных и нормированных величин калия и тория с учетом генетических типов ландшафта

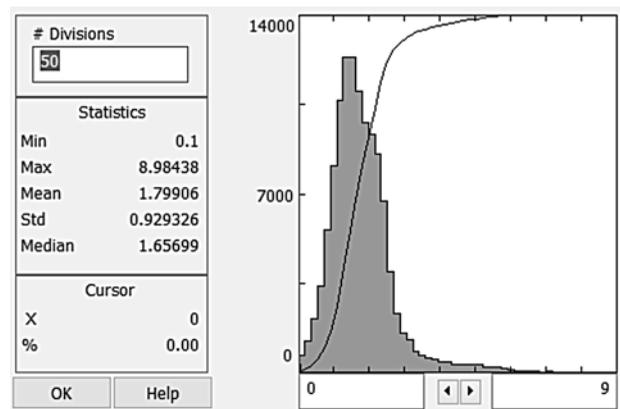


Рис. 7

Статистика и гистограмма распределений концентраций калия для аллювиально-аккумулятивной формы ландшафта

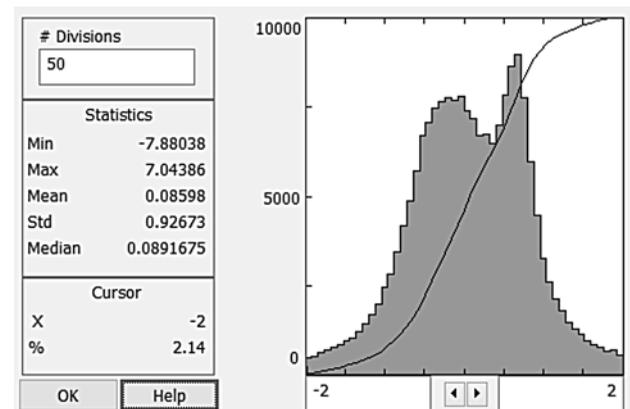


Рис. 8

Статистика и гистограмма распределений центрированной нормированной разности калия и тория для транслювиальной формы ландшафта

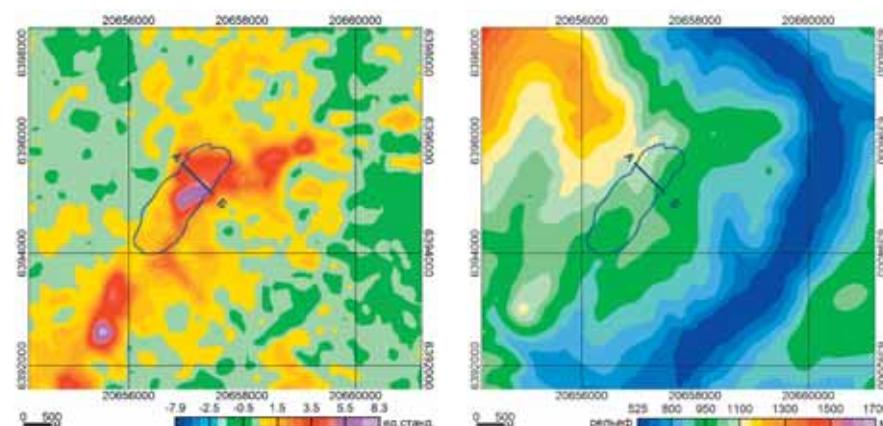


Рис. 9

Карта разности центрированных и нормированных величин калия и тория с учетом генетических типов ландшафта (слева) и цифровая модель рельефа (справа) в районе проектного контура карьера

На рисунок вынесен проектный контур карьера и буровая линия А-Б

Геохимические поиски включали в себя отбор проб по сети  $100 \times 100$  м с последующей аналитикой на золото Au (пробирный анализ), серебро Ag (AAA), мультиэлементный анализ (ICP-AES с четырехкислотным разложением). В результате по данному виду работ стояла задача обнаружения в почвенном покрове аномалий золота Au и комплексных аномалий химических элементов Ag, As и др.

В ходе геолого-поисковых маршрутов с опробованием коренных пород и элювиально-делювиальных глыбовых развалов была выполнена заверка намеченных площадей локализации рудоносных объектов.

В табл. 2 приведены результаты ГРП на месторождении Роман. Это одно из крупнейших открытий месторождения золота в современной истории отрасли. Как гласит легенда, название участку «Роман» на рубеже 1970–1980-х гг. дали геологи-съемщики. Геологи компании открыли Роман на лицензии, взятой по «заявительному принципу». Роман расположено на юго-западе Якутии, в 13 км от действующих рудников Гросс и Таборное (пользователь – компания «Нордголд»).

Таблица 2

## Результаты ГРП на месторождении Роман

Категория запасов	Запасы руды, тыс. т	Среднее содержание, г/т	Запасы		
		Au	Ag	Au, кг	Ag, т
Балансовые запасы цианируемых руд					
C1	14 273	0,58	1,78	8242	25
C2	58 752	0,52	2,38	30 831	139
C1+C2	73 025	0,57	2,26	41 979	164
Забалансовые запасы, всего					
C1	4165	0,46	0,8	1929	3
C2	165 959	0,6	3,42	99 479	567
C1+C2	170 124	0,6	3,35	101 408	570

Таблица 3

## Лучшие рудные интервалы

Скважина	Мощность интервала, м	Содержание золота, г/т
U-128	7,0	1,01
U-91	4,0	0,67
U-91	12,0	0,36
U-91	21,5	0,91
U-92	40,4	0,65
U-92	44,4	0,49
U-93	17,0	0,91
U-93	28,5	0,45
U-93	39,4	0,70
U-94	17,8	0,57
U-94	6,3	0,81
U-94	51,8	0,59
U-94	12,5	0,67
U-95	30,0	0,40
U-95	57,0	0,64
U-95	13,8	0,52
U-95	11,0	0,55
U-96	34,0	0,59
U-96	3,3	0,67
U-97	10,7	0,48

**Методика и результаты исследований второго этапа стадийности (табл. 1)**

По завершении нулевой и первой стадий работ проводилась проходка поисковых канав для вскрытия аномалий, выявленных в ходе геохимических поисков, и для прослеживания зон минерализации по простиранию. Расстояние между канавами 160–320 м, в зависимости от рельефа и размера аномалии. Опробование выполнялось сплошной бороздой со средней длиной секции 1 м. В результате была получена оценка золотоносности с поверхности, определены структурные параметры потенциально золотоносных образований, обнаружена промышленная золотоносность.

Бурение с обратной циркуляцией (RC) выполнялось для вскрытия аномалий при большой мощности рыхлых отложений и на заболоченных участках. Расстояние между линиями бурения 160–320 м, в зависимости от рельефа и размера аномалии. Бурение проводилось наклонными скважинами глубиной до 50 м, с обеспечением полного перекрытия разреза. Опробование шлама сплошное, через делитель, с длиной секции 1 м. В результате данного вида работ получена оценка золотоносности с поверхности и на небольшую глубину, определены структурные параметры потенциально золотоносных образований, обнаружена промышленная золотоносность.

Третий вид работ – проходка колонковых скважин глубиной до 300 м. Бурение проводилось в наиболее перспективных рудных структурах, определенных в ходе проходки канав и RC-бурения. Основной диаметр бурения 96 мм (HQ). Линейный выход керна не менее 95%. Опробование керна сплошное секционное, согласно литологическим разностям, длина секции 1 м. В результате окончания данного вида работ подтверждено прослеживание оруденения на глубину, получены промышленные сечения, определены параметры золоторудных тел (рис. 10, 11).

Все отобранные пробы анализировались на золото Au пробирным методом с окончанием ICP-AES, на Ag (AAA) и на сопутствующие элементы мультиэлементным анализом (ICP-AES с четырехкислотным разложением). Результаты работ приведены в табл. 2, 3, по которым можно определить мощность интервала для каждой скважины и содержание золота.

Проведенные в большом объеме комплексные многостадийные геолого-геофизические работы позволяют перейти к финальной стадии – оценке выявленных объектов бурением (табл. 1).

Предложенная методика геолого-геофизических работ и их стадийность позволили подтвердить возможность нахождения месторождений на абсолютно закрытой территории, когда на поверхности нет ни обнажений, ни вывалов оруденелых пород, ни россыпей в водотоках. Использование RC-бурения для поверхностного картирования рудных зон в условиях невозможности проходки поисковых канав позволило освоить новые методики интерпретации данных, связанные с геостатистическим анализом и трехмерным моделированием.

Примечательно, что на месторождениях Токкинское и Роман рудных тел не обнаружено, но есть 2–3 сближенные зоны измененных пород, содержащих

повышенные – промышленные и непромышленные – концентрации золота, определяемые только по результатам химического анализа [Потанин и др., 2023].

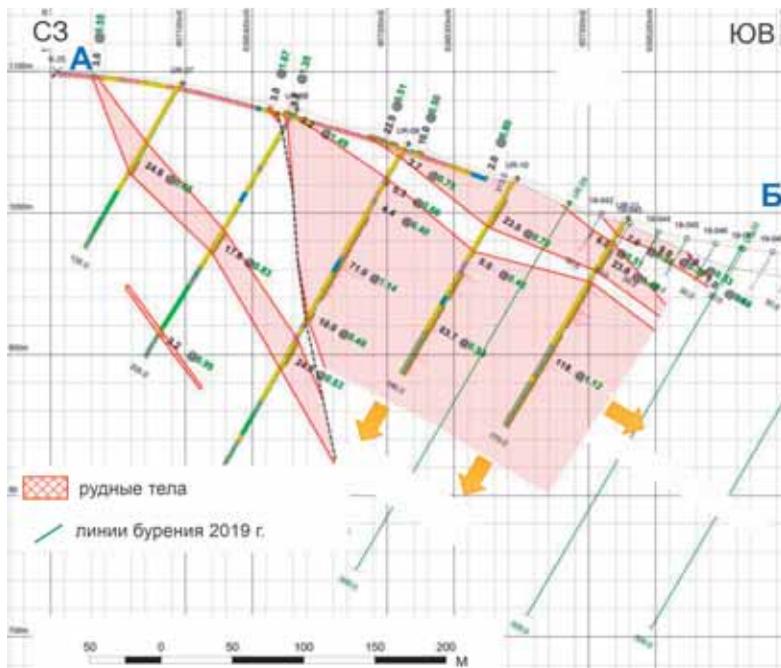


Рис. 10  
Разрез по буровой линии А-Б на участке Роман 2019 г.  
Стрелками показано распространение рудного тела на глубину

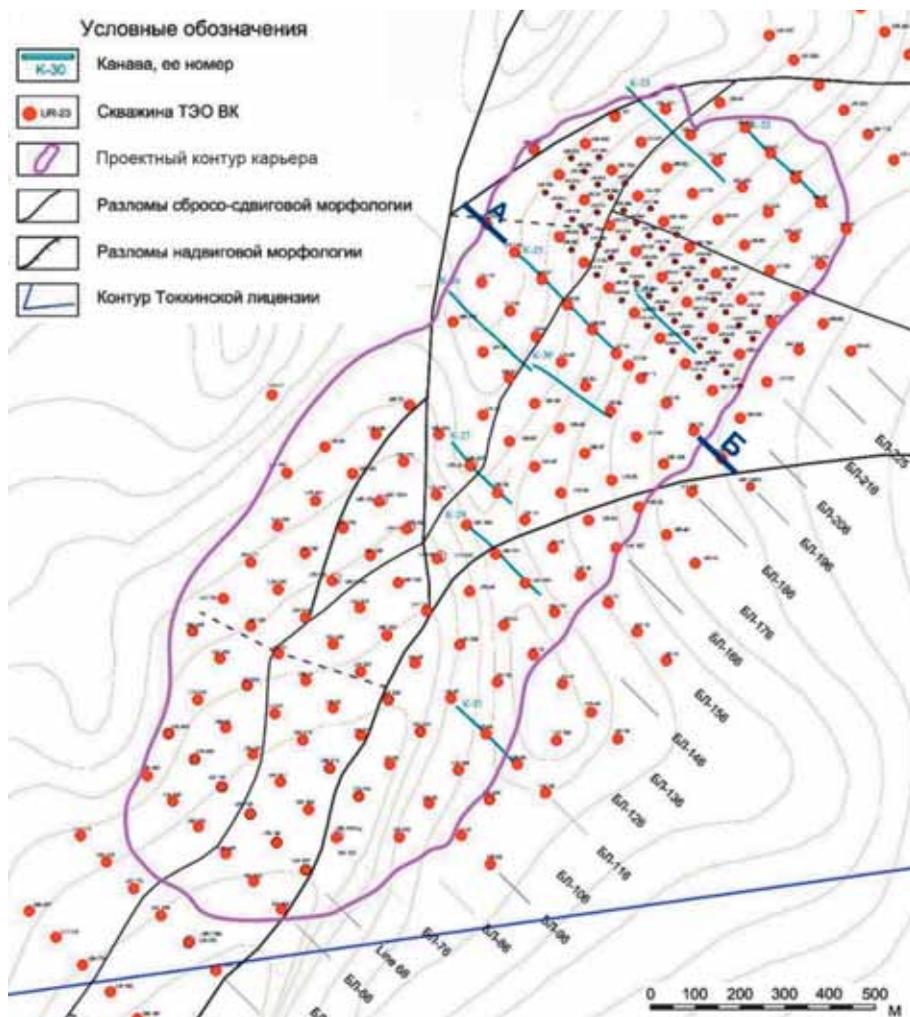


Рис. 11  
Результаты ГРП в 2020 г. на участке Роман

### Заключение

Проведенные исследования показали высокую эффективность предложенных поисковых геофизических работ при открытии новых золоторудных месторождений. Главным итогом, полученным специалистами компании «Нордголд» в изученном рудном поле, явилась успешная реализация поисковых программ и открытие нескольких месторождений золота с общими запасами более 350 т металла.

В 2014 г. было защищено ТЭО ПК и запасы месторождения Гросс в количестве 171 т золота. В 2023 г. прошла экспертиза в ГКЗ ТЭО ВК по участку Роман с суммарными запасами не менее 143 т золота.

ТЭО ВК месторождений Врезанное и Токкинское было получено в 2020 г. Открытие этих рудных объектов позволило оценить перспективность территории на новый тип месторождений с помощью предложенной стадийности работ. На примере полученных эталонных объектов удалось эффективно за короткое время с помощью аэрогеофизики комплексом «Экватор» провести поисковые работы на большой территории и выделить на ней перспективные площади. При прогнозе и уточнении был применен следующий набор методик: аэрогеофизические исследования системой «Экватор», лидарная съемка (комплекс лазерного сканирования и аэрофотосъемки высокого разрешения), наземные геохимические и геофизические работы, проходка канав, колонковое бурение. Использование квадратной сети геохимического опробования позволило снизить влияние горизонтальной анизотропии аномалий и проанализировать все пробы количественными пробирно-химическими и атомно-эмиссионными методами.

Еще раз подчеркнем, что проведенные комплексные поисковые работы предложенной стадийности позволили обнаружить уникальное месторождение Роман и несколько рудопроявлений (Чуостах, Надежда, Пограничный и др.), что открывает широкие перспективы для новых поисковых работ.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Бабаянц П.С., Керцман В.М., Лёвин Ф.Д., Трусов А.А. Особенности современной аэрогамма-спектрометрии // Разведка и охрана недр. 2015. № 12. С. 10–16.
2. Возженков Г.С. Радиометрия и ядерная геофизика. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2006. 418 с.
3. Волковицкий А.К., Каршаков Е.В., Мойланен Е.В. Новая вертолетная электроразведочная система ЭКВАТОР для метода АМПШ // Приборы и системы разведочной геофизики. 2010. № 2. С. 27–29.
4. Вольфсон Ф.И. Проблемы изучения гидротермальных месторождений. М.: изд. АН СССР, 1953. 304 с.
5. Временные методические указания, 1990. Аэрогамма-спектральная съемка территорий, пострадавших в результате аварии на ЧАЭС, испытаниях ядерного оружия, работы предприятий атомной энергетики и промышленности (Госкомгидромет СССР). М. 346 с.
6. Добровольский В.В. Геохимия почв и ландшафтов. Т. 2. М.: Научный мир, 2020. 752 с.
7. Инструкция по магниторазведке (наземная магнитная съемка, аэромагнитная съемка, гидромагнитная съемка). М-во геологии СССР. Л.: «Недра», 1981. 263 с.

Хочется отметить, что возможности найти крупные рудные объекты в нашей стране еще остаются. Пусть не бросающийся в глаза кварцево-жильный тип, а что-то менее заметное, в виде подобия порфириновых объектов (Чульбуткан, Болотистый и др.), окисленных минерализованных зон (объекты Токкинской площади и Гросс).

Большие перспективы открывают более дешевые способы переработки руды. С применением метода кучного выщелачивания промышленные содержания золота сильно снизились. Это хорошо видно на примере наших объектов. То есть то, что раньше не могло являться рудой априори, сейчас ей стало. Необходима планомерная ревизия старых отчетов с обращением внимания на пробы с низким содержанием ПИ.

Следующим важным фактором является новая аналитика. Повсеместное применение пробирного анализа и мультиэлементных анализов ICP-AES или ICP-MS вместо золотоспектрометрии и ПКСА. Доступная цена на эти анализы позволяет отбирать больше проб при керновом и бороздовом опробовании, а более точные определения полезных элементов получать лучшие результаты, что важно на стадии поисков.

Также следует уделять внимание нетрадиционным типам оруденения для конкретных территорий. Искать не то, что искали здесь ранее, а смотреть, какие генетические типы могут быть на каждой территории. Часть областей в связи с развитием инфраструктуры стали доступнее, и появился шанс проводить более масштабные работы без излишних затрат на мобилизацию.

### Благодарность

*Авторы выражают глубокую признательность коллективу компании ООО «Нордголд Менеджмент» за возможность опубликования представленных материалов, С.А. Краюшкину и В.В. Лесняку за содержательное обсуждение полученных результатов.*

8. Инструкция по электроразведке (наземная, скважинная, шахтно-рудничная, аэро-, морская электроразведка). М-во геологии СССР. Л.: «Недра», 1984. 534 с.
9. Керцман В.М., Мойланен Е.В., Подмогов Ю.Г. Возможности аэрогеофизики при поисках золоторудных месторождений различного типа // Геофизика. 2019. № 4. С. 52–59.
10. Котляр В.Н. О магматических комплексах и оруденении: Советская геология. 1955. № 43. С. 61–70.
11. Кучеренко И.В. Реконструкция золотопроизводящей способности силикатных расплавов как основа петрологического и петрохимического прогнозно-поисковых критериев оценки территории на золото // Золото и технологии. 2013. № 2. С. 70–81.
12. Островский Э.Я. Методические указания по аэрогамма-спектрометрической съемке с кодовым прибором АГС-4К. М.: М-во геологии СССР, 1974. 135 с.
13. Пегов А.Н. Практические приемы обработки данных в прикладной гамма-спектрометрии. Л.: Гидрометеоздат, 1980. 149 с.
14. Потанин А.С., Чварова Н.В., Мойланен Е.В., Керцман В.М. Стадийность геолого-геофизических работ при открытии нового золоторудного поля на лицензиях компании Nordgold: месторождения Врезанное, Токкинское, Роман и другие перспективные объекты // Золото и технологии. 2023. Т. 1. № 59. С. 90–95.

15. Техническая инструкция по аэрогамма-спектрометрической съемке: Утв. М-вом геологии СССР 27.08.76. М.: М-во геологии СССР, 1977. 188 с.  
 16. Якжин А.А. Поиски и разведка урановых месторождений. М.: ГосГеолтехиздат. 30 с.  
 17. IAEA-TECDOC-1363, Vienna, 2003, P. 179, ISBN 92-0-108303-3.  
 18. Karshakov E. Iterated extended Kalman filter for airborne electromagnetic data inversion / Exploration Geophysics. 2020. Т. 51, № 1. P. 66–73. DOI: 10.1080/08123985.2019.1593790.  
 19. Moilanen J., Karshakov E., Volkovitsky A. Time-domain helicopter EM System “Equator”: resolution, sensitivity, universality. 13<sup>th</sup> SAGA biennial and 6<sup>th</sup> International AEM conference AEM-2013, Mpumalanga, South Africa, Expanded Abstracts. 2013. С. 1–4.

REFERENCES

1. Babayants PS, Kertsman VM, Levin FD, Trusov AA. Specialities of modern airborne gamma-ray spectrometry. *Razvedka i ohrana neдр*: 2015; (12):10–16 (in Russian).  
 2. Vozhenkov GS. Radiometry and nuclear geophysics. Ekaterinburg: Publ. USGU, 2006. 418 p. (in Russian).  
 3. Volkovitsky AK, Karshakov EV, Moilanen J. New helicopter electromagnetic system EQUATOR for the time domain. *Instruments and systems of exploration geophysics*. 2010; (2):27–29 (in Russian).  
 4. Wolfson FI. Problems in the study of hydrothermal deposits. Moscow: ed. Academy of Sciences of the USSR. 304 p. (in Russian).  
 5. Temporary guidelines. Airborne gamma-ray survey of territories affected by the Chernobyl accident, nuclear weapons testing, work of nuclear energy and industrial enterprises (Goskomhydromet of the USSR). Moscow, 1990. 346 p.  
 6. Dobrovol'sky VV. Geochemistry of soils and landscapes. Т. 2. Moscow: Scientific World, 2020. 752 p. (in Russian).  
 7. Instructions for magnetic survey (terrestrial magnetic survey, aeromagnetic survey, hydromagnetic survey). Ministry of Geology of the USSR. Leningrad: Nedra, 1981. 263 p. (in Russian).  
 8. Instructions for electrical survey (ground, borehole, mining, airborne, marine electrical prospecting). Ministry of Geology of the USSR. Leningrad: Nedra, 1984. 534 p. (in Russian).

9. Kertsman VM, Moilanen J, Podmogov YuG. Possibilities of airborne geophysics in the search for gold deposits of various types. *Geophysics*. (4):52–59 (in Russian).  
 10. Kotlyar VN, 1955. On igneous complexes and mineralization. *Soviet Geology*. 2019; (43):61–70 (in Russian).  
 11. Kucherenko IV. Reconstruction of the gold-producing ability of silicate melts, as the basis of petrological and petrochemical forecasting and prospecting criteria for assessing the territory for gold. *Gold and Technologies*. 2013; (2):70–81 (in Russian).  
 12. Ostrovsky EYa. Guidelines for airborne gamma-ray survey with the AGS-4K code device. Moscow: Ministry of Geology of the USSR, 1974. 135 p. (in Russian).  
 13. Pegoev AN. Practical techniques for data processing in applied gamma-ray spectrometry. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1980. 149 p. (in Russian).  
 14. Potanin AS, Chvarova NV, Moilanen J, Kertsman VM. Staged geological and geophysical work during the discovery of a new gold ore field on Nordgold company licenses: Vrezannoye, Tokkinskoye, Roman deposits and other promising objects. *Gold and Technologies*. 2023; 1(59):90–95 (in Russian).  
 15. Technical instructions for aerial gamma spectrometric survey: Approved. Ministry of Geology of the USSR 08.27.76. Moscow: Ministry of Geology of the USSR. 1977. 188 p. (in Russian).  
 16. Yakzhin AA. Search and exploration of uranium deposits. Moscow: GosGeoltekhizdat, 1961. 30 p. (in Russian).  
 17. IAEA-TECDOC-1363, Vienna, 2003. P. 179. ISBN 92-0-108303-3.  
 18. Karshakov E. Iterated extended Kalman filter for airborne electromagnetic data inversion. *Exploration Geophysics*. 2020; 51(1): 66–73. DOI: 10.1080/08123985.2019.1593790.  
 19. Moilanen J, Karshakov E, Volkovitsky A. Time-domain helicopter EM System “Equator”: resolution, sensitivity, universality. 13<sup>th</sup> SAGA biennial and 6<sup>th</sup> International AEM conference AEM-2013, Mpumalanga, South Africa, Expanded Abstracts. 2013: 1–4.

Положительная рецензия 06.11.2023

ОБ АВТОРАХ



ПОТАНИН  
Александр Сергеевич

Руководитель геолого-разведочных проектов компании «Нордголд».



КЕРЦМАН  
Владимир Менделеевич

Специалист в области геофизики, геологии. Ликвидатор последствий аварии на ЧАЭС 1986 г. Один из авторов карты радиоактивного загрязнения территории СНГ. Лауреат серебряной медали ВДНХ СССР и золотой медали ВВЦ России. Отличник разведки недр. Автор более 50 научных работ.



ЧВАРОВА  
Наталья Валериевна

Главный геолог в дирекции по минеральным ресурсам компании «Нордголд». Руководит мероприятиями рудничной геологии, ведет комплекс технологических мер, направленных на снижение потерь и разубоживания.



МОЙЛАНЕН  
Евгений Викторович

Глава отдела геофизики компании «Геотехнологии», научный сотрудник ИПУ РАН. Окончил МГУ им. М.В. Ломоносова. Преподаватель курса «эрогеофизика» в МГУ с 2014 г. Специалист в области аэрогеофизических технологий. Автор более 40 научных работ.