



Стадийность геолого-геофизических работ при открытии нового золоторудного поля на лицензиях компании Nordgold: месторождения Врезанное, Токкинское, Роман и другие перспективные объекты

А.С. Потанин, Н.В. Чварова — ООО «Нордголд Менеджмент»
В.М. Керцман, Е.В. Мойланен — ООО «Геотехнологии»

Введение

50 лет назад в министерстве геологии было принято последовательно переходить от мелкомасштабных к крупномасштабным работам. Этот подход использовался при открытии большинства уникальных месторождений на территории СССР. Детальными поисковыми работами (масштаба 1:50 000 и крупнее) занимались территориальные управления, располагавшие для этого значительными силами. 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 носят хаотичный характер.

Компании Nordgold удалось восстановить традиционную последовательность геологоразведочных работ. После обнаружения месторождений Таборное и Гросс в Южной Якутии были предприняты попытки найти объекты-аналоги. Однако, буровые работы на участке Усинский и других, находящихся к востоку от месторождений, в сходных геологических условиях, успеха не принесли. Затем были проведены стадийные поисковые работы западнее месторождения Таборное в породах Архейского фундамента.

Геология района работ

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

Объекты приурочены к мощной тектонической зоне брекчирования. Генезис объектов — гидротермально-метасоматический. Рудоносным является щелочной калиевый метасоматоз с пиритизацией.

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 т.

Ключевые слова: аэрогеофизика, геохимия, буровые работы, месторождение Роман.

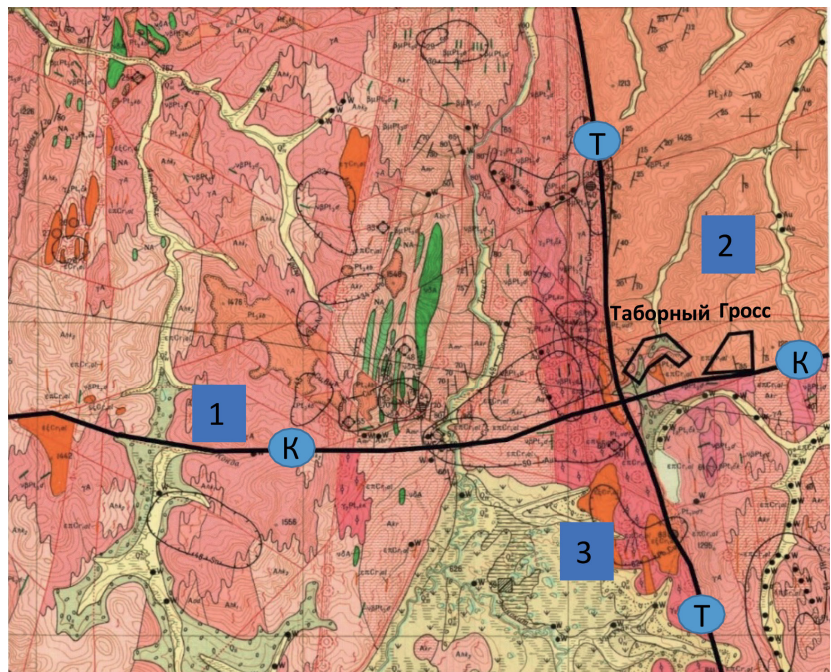


Рис. 1. Геологическая карта района работ
1 — породы Архейского фундамента; 2 — песчаники Протерозойского грабена;
3 — щелочные интрузивные породы Мезозойского возраста.

На геологической карте и в результатах магнитной съемки выделены дайкообразные тела основного состава. Роль подобных магматитов в формировании золотых месторождений, наряду с участками метасоматических изменений, отмечалась еще классиками Советской геологии Ф.И. Вольфсоном и В.Н. Котляром [3, 8, 9].

Опираясь на составленную прогнозно-поисковую модель, были проведены поисковые работы западнее месторождения Таборное, в породах Архейского фундамента, где также присутствуют признаки, благоприятные для обнаружения новых месторождений.

Программа геологоразведочных работ

План работ включал в себя четыре стадии:

0. Выбор участка для поисковых работ.
1. Площадные поисковые наземные работы.
2. Заверка выявленных перспективных участков (стадия открытия).
3. Оценка выявленных объектов бурением.

В нулевую стадию входило: изучение фондовых материалов и геологических отчетов прошлых лет; выбор площади с использованием составленной прогнозно-поисковой модели; аэрогеофизические исследования (электроразведка, гамма-спектрометрия и магнитометрия).

В первую стадию — геохимические поиски по первичным и вторичным ореолам рассеяния, геологические маршруты, наземные геофизические работы (магнитометрия и гамма-спектрометрия) (1-й год).

Вторая стадия состояла из заверочных горнопроходческих работ (канавы), РС-бурения на участках, перекрытых чехлом четвертичных отложений, бурения единичных колонковых скважин, с целью получения промышленных сечений (2-й год).

На третьей стадии были выполнены 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).

Стадия 0. Аэрогеофизика.

Западнее месторождения Таборное была выполнена аэрогеофизическая съемка комплексом ЭКВАТОР, который содержит каналы аэроэлектроразведки [6], аэромагниторазведки [5] и аэрогамма-спектрометрии [13].

1. Аэроэлектроразведка во временной (метод переходных процессов — МПП) и частотной области [2, 15]. Шаг электрического зондирования среды вдоль профиля — 5–7 м. Обработка выполняется в частотном и временном форматах. Результаты измерений представляются в виде карт и разрезов удельных сопротивлений [7, 14].
2. Аэромагниторазведка квантовым магнитометром (Scintrex CS-3) с частотой измерений 1000 раз/сек. и чувствительностью 0,6 нТл/√Гц. Шаг измерений по профилю полета 1–2 м. Такая детальность измерений избыточна даже для обнаружения

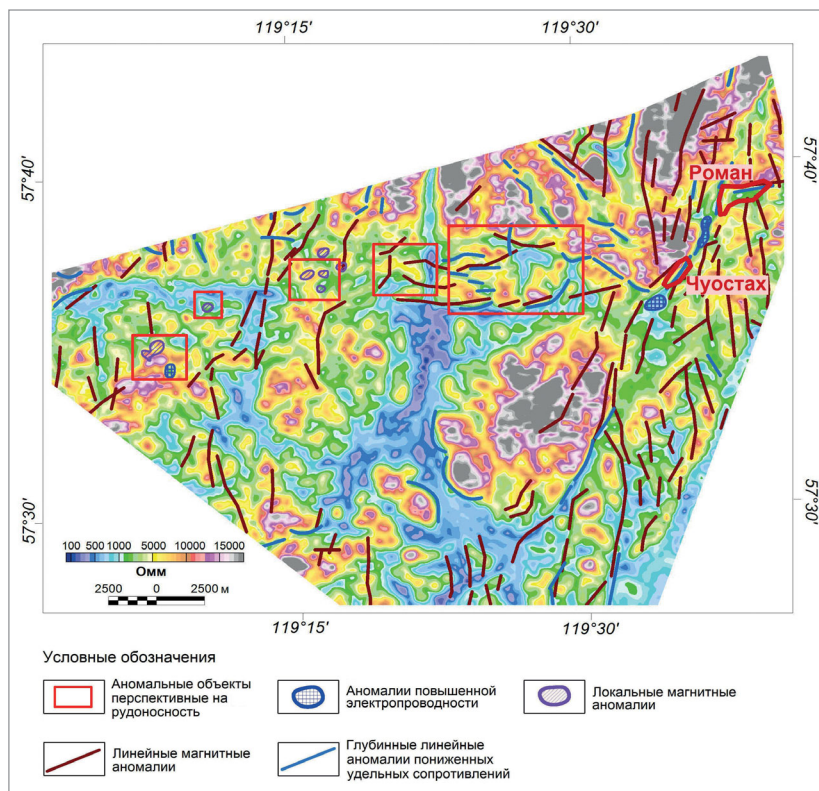


Рис. 2. Карта удельных сопротивлений для интервала глубин 0–300 м

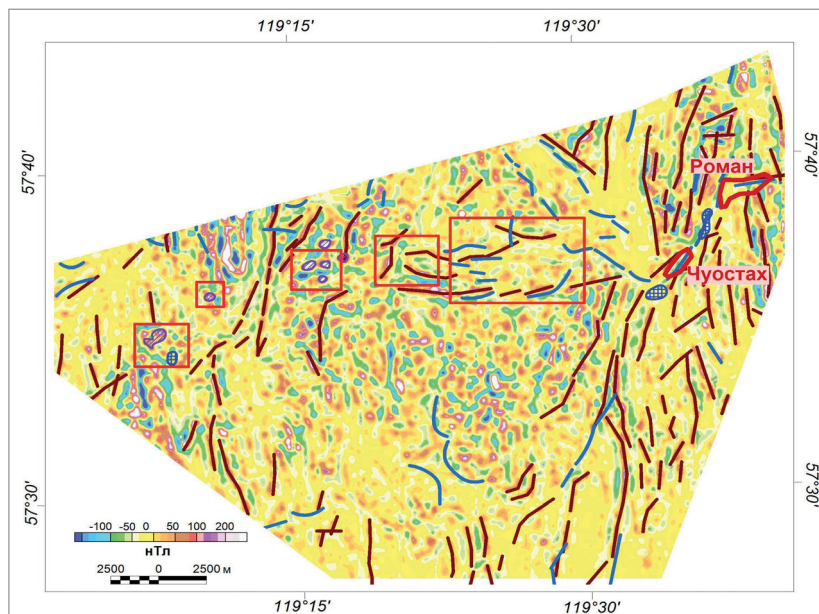


Рис. 3. Карта локальной составляющей аномального магнитного поля (фильтр Керцмана, ширина 700 м). Условные обозначения на рис. 2

магнитных объектов с горизонтальной мощностью порядка 1 м. Точность съемки 1–2 нТл, при горизонтальном градиенте магнитного поля менее 50 нТл/км.

3. Аэрогамма-спектрометрия выполняется спектрометром «Макфар» (Канада) с полицилинновыми детекторами NaJ(Tl) емкостью 32 л. Полный спектр гамма-излучения записывается с шагом 7 кэВ/канал в диапазоне 0,3–3 МэВ. Запись ведётся отдельно для каждого кристалла емкостью

4 л. Частота регистрации 1 сек. (около 40 м) вдоль профиля наблюдений. Такая методика регистрации позволяет сводить отдельные спектры в единый с энергетическим разрешением по линии 0,662 МэВ (Cs-137) не хуже 9%. Для стабилизации энергетической шкалы используются естественные пики, а также термостатирование блоков детекторов.

Обработка результатов выполняется как по стандартной методике [12, 13], так и по площадям «фотопиков» [4, 7]. ▶

ЭКСПЛУАТАЦИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

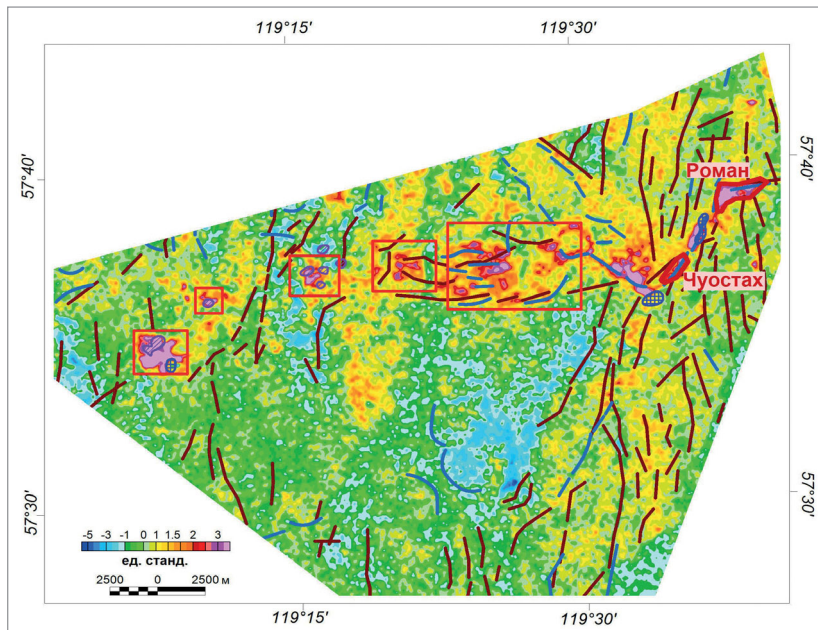


Рис. 4. Карта разности центрированных и нормированных величин калия и тория (условные обозначения на рис. 2, с. 91)

Вторая методика увеличивает чувствительность по урану в 3 раза, а по торию в 1,8 раза (за счет привлечения дополнительных пиков) на высоте 120 м. Кроме того регистрация по «фотопикам» позволяет ввести поправку за «свободный» радон-222, (основная и, практически, неустранимая помеха в канале урана при стандартной обработке) особенно если он находится ниже летательного аппарата [11, 1]. Это могут быть дождевые осадки или маломощный снеговой покров. Введение поправки за «радон» позволяет получить эту «помеху» в качестве самостоятельного канала и использовать его локальную составляющую для обнаружения золоторудной минерализации Эльконского типа, даже если продуктивные горизонты перекрыты другими породами. Точность съёмки по гамма-спектрометрии составляет: 0,15 % — К, 0,35 ррм — U, 0,9 ррм — Th. Оценки точности даны для «кларковых» содержаний: 2 % — К, 2,5 ррм — U и 9 ррм — Th. Средняя производительность съёмки комплексом ЭКВАТОР составляет 10 тыс. пог. км в месяц. Сильно расчленённый рельеф не является принципиальной помехой. Кондиционные съёмки выполнялись при углах склонов по линии полета до 450.

Карты удельного электрического сопротивления и локальной составляющей аномального магнитного поля (рис. 2 и 3, с. 91) хорошо демонстрируют тектоническую динамику. На рисунке 2 (с. 91) приведена карта удельных сопротивлений для интервала глубин 0-300 м. В целом площадь характеризуется высокими удельными сопротивлениями, их среднестатистическое значение составляет 4 тыс. Ом-м, а максимумы достигают 10 тыс. и более Ом-м.

Минимальными значениями удельных сопротивлений 100–200 Ом-м характеризуются зоны тектонических нарушений и зоны максимальной гидротермальной проработки, а также области развития четвертичных отложений.

Магнитные аномалии на рисунке 3 (с. 91), в основном, созданы приповерхностными объектами и, в том числе, могут отвечать слепым интрузиям основного состава.

Для площади в целом характерен 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 использовалась карта разности центрированных и нормированных величин калия и тория [10] (рис. 4).

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

где:

C — разность центрированных и нормированных величин калия и тория;

K_i, Th_i — измерения калия и тория в i-той точке измерения;

\bar{K}, \bar{Th} — средние значения калия и тория по площади;

σ_K, σ_{Th} — среднеквадратические отклонения калия и тория соответственно, вычисленные по площади.

На карте разности центрированных и нормированных величин калия и тория (рис. 4) чётко проявлено противоположение того или другого элемента, геологическую природу которого предстоит установить последующими геохимическими и горно-буровыми

работами. Условные обозначения к рисункам 3 (с. 91) и 4 приведены на рисунке 2 (с. 91).

Большая часть перспективных участков данного района находится в зоне Кондинского разлома, строение которого было уточнено по геофизическим данным.

К западу от месторождения Роман выделены перспективные участки с аналогичными геофизическими характеристиками, на которых в настоящее время выполняются работы 1 и 2 стадий.

Например, участок, выделенный в самой западной части площади (рис. 2 и 3 на с. 91, рис. 4). На отдельных местах фиксируются аномально высокие содержания калия (более 9 %) при содержании тория 7–10 ррм. По данным электроразведки и магнитометрии в пределах данной области фиксируются локальная магнитная и аномалия пониженных сопротивлений.

Описание работ этапа 1.

Виды и объёмы работ:

1. Геохимические поиски по вторичным ореолам рассеяния. Площадь участка в районе 100 км².
2. Геологические маршруты 100 пог. км.
3. Наземные геофизические работы (магнитометрия и гамма-спектрометрия). Площадь участка 40 км².

Геохимические поиски включают в себя отбор проб по сети 100x100 м, с последующей аналитикой на Au (пробирный анализ), Ag (AAA), мультиэлементный анализ (ICP-AES с четырехкислотным разложением). Ожидаемый результат по данному виду работ — обнаружение в почве аномалий Au и комплексных аномалий Au, Ag, As.

Геологические маршруты — геолого-поисковые маршруты с опробованием коренных пород и элювиально-делювиальных глыбовых развалов. Результатом работ является проверка и изучение известных и вновь выявленных пунктов минерализации и геохимических аномалий.

Наземные геофизические работы проводятся в масштабе 1:10 000. Работы планируются для уточнения выявленных аэрогеофизических аномалий. Проводятся по профилям, совпадающим с геохимическим опробованием.

Решение о продолжении/завершении проекта принимается после анализа данных и разборок выявленных аномалий.

Описание работ этапа 2.

Виды и объёмы работ:

1. Проходка поисковых канав (2–2,5 тыс. пог. м).
2. RC-бурение (5 тыс. пог. м).
3. Бурение единичных колонковых скважин (2–3 тыс. пог. м).
4. Аналитика. ▶

Geological plan of Roman site

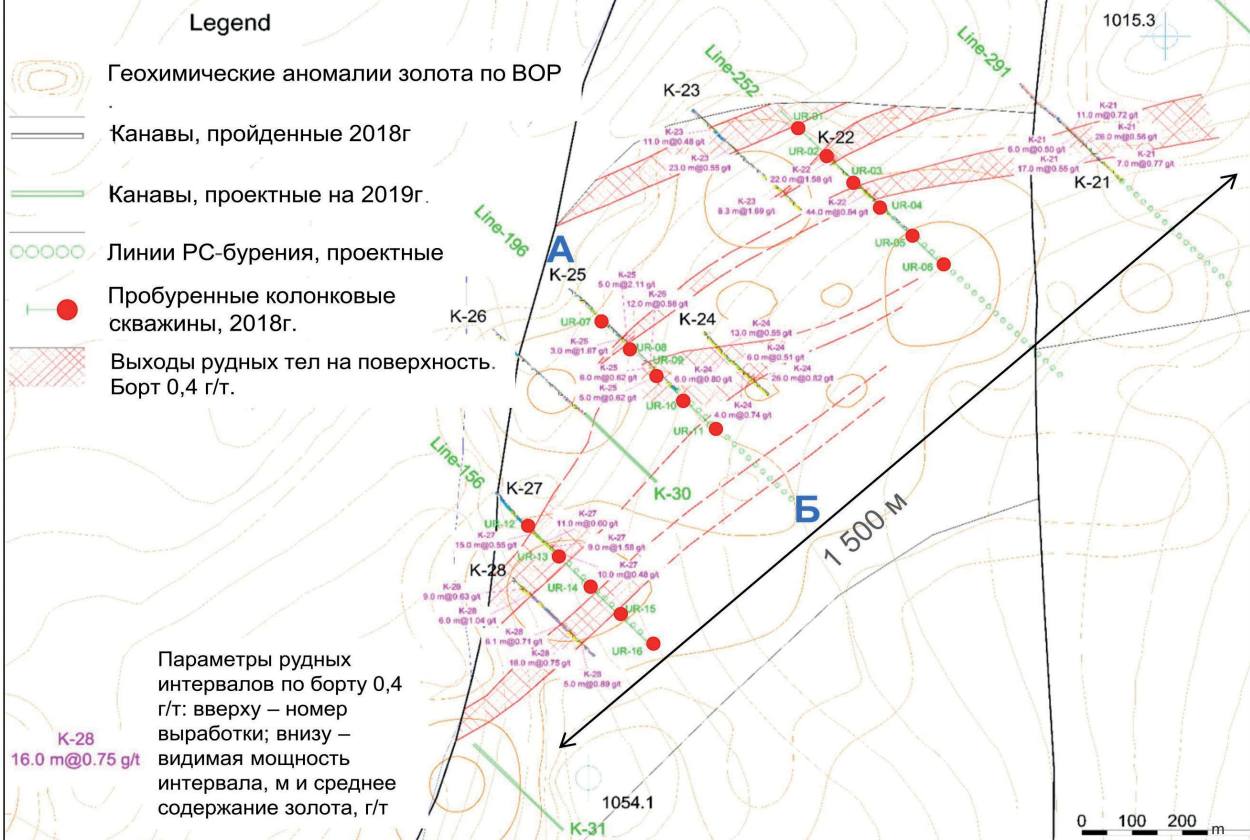


Рис. 5. Результаты первых буровых работ на участке Роман в 2019 г.

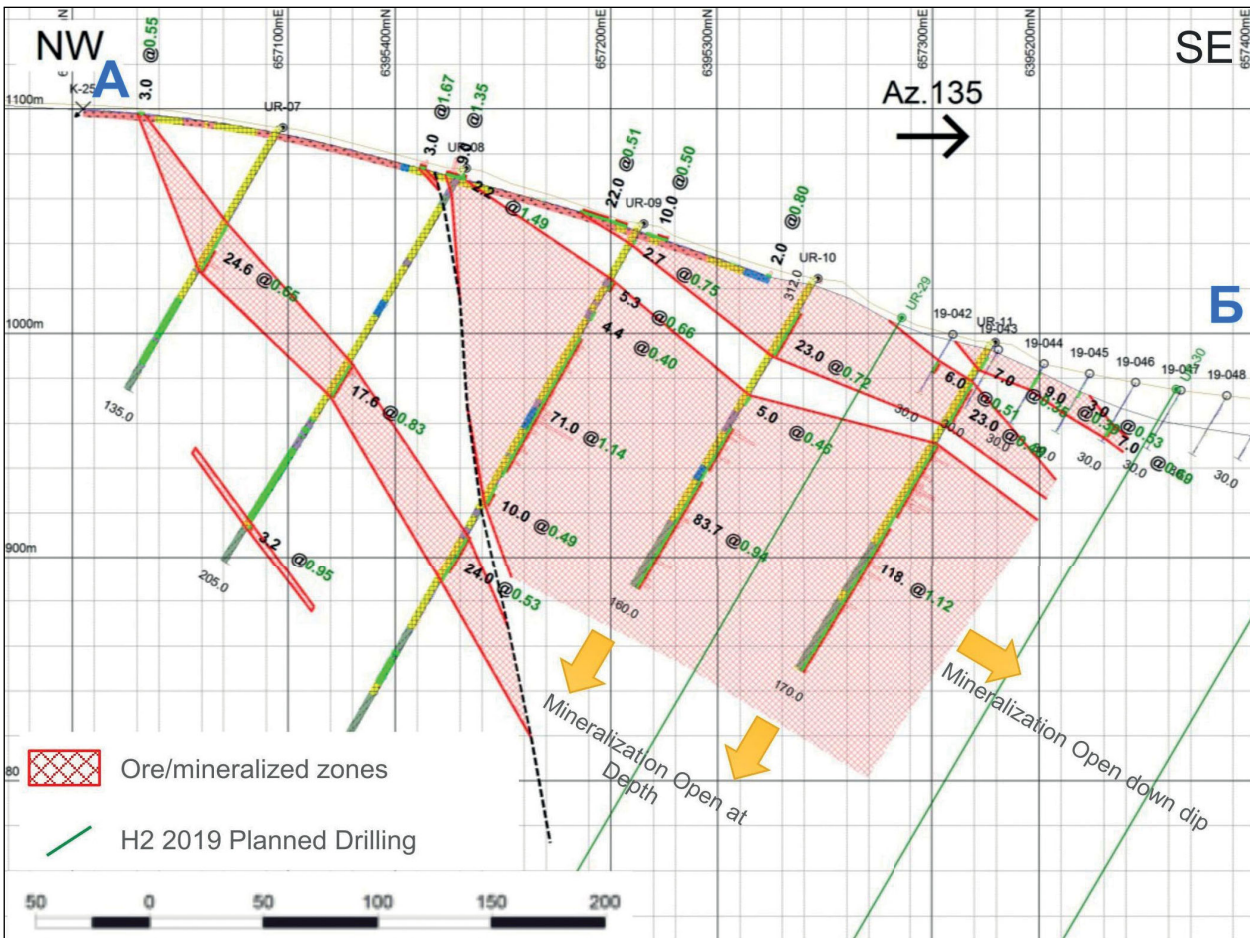


Рис. 6. Разрез по буровой линии А-В на участке Роман, 2019 г.

ЭКСПЛУАТАЦИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

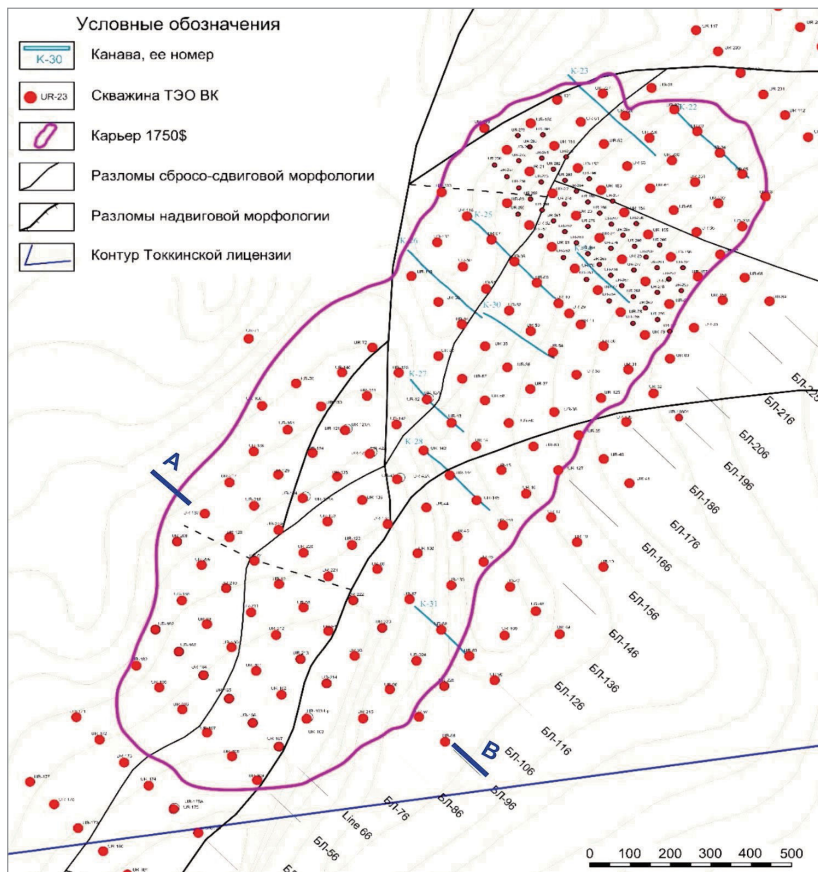


Рис. 7. Участок Роман. Результаты ГРП в 2020 г.

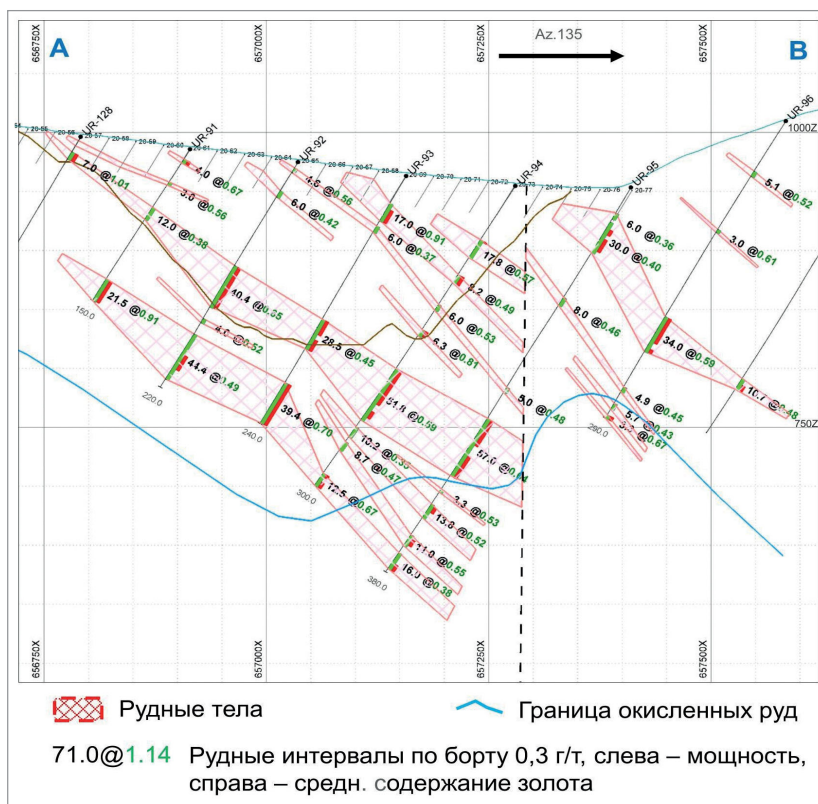


Рис. 8. Разрез по буровой линии 96 (А-В) на участке Роман, 2020 г.

Проходка поисковых канав выполняется для вскрытия аномалий, выявленных в ходе геохимических поисков по ВОР и для прослеживания зон минерализации по простиранию. Расстояние

между канавами 160–320 м, в зависимости от рельефа и размера аномалии. Опробование сплошной бороздой со средней длиной секции 1 м. Планируемые результаты работ —

оценка золотоносности с поверхности, определение структурных параметров потенциально золотоносных образований, обнаружение промышленной золотоносности.

РС-бурение выполняется 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 проводится наклонными скважинами глубиной до 50 м, с обеспечением полного перекрытия разреза. Опробование шлама сплошное, через делитель, с длиной секции 1 м. Результатом данного вида работ является оценка золотоносности с поверхности и на небольшую глубину, определение структурных параметров потенциально золотоносных образований, обнаружение промышленной золотоносности.

Описание работ этапа 3.

Третий вид работ — проходка колонковых скважин глубиной до 300 м. Бурение проводится в наиболее перспективных рудных структурах определенных в ходе проходки канав и РС-бурения. Основной диаметр бурения — НQ. Линейный выход керна не менее 95 %. Опробование керна сплошное секционное, согласно литологическим разностям, длина секции — 1 м. В результате окончания данного вида работ планируется подтверждение прослеживания оруденения на глубину, получение промышленных сечений, определение параметров золоторудных тел (рис. 5–6 на с. 93, рис. 7–8).

Все отобранные пробы анализируются на Au пробирным методом с ICP-AES окончанием, на Ag (AAA), и на сопутствующие элементы мультиэлементным анализом (ICP-AES с четырех кислотным разложением). Планируемый результат работ — регулярно проводится процедуры QC-QA, с использованием бланков, стандартов, контроля пробоподготовки. Проводится внутренний и внешний контроль (табл. 1–4).

Решение о продолжении/завершении проекта принимается после анализа данных о масштабе выявленных аномалий, количества подтвержденных рудных объектов и содержания в них основных полезных компонентов. Возможна первичная оценка ресурсов Potential.

Выводы

Компании Nordgold в одном рудном поле удалось дважды реализовать поисковые программы и открыть несколько 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. ТЭО ВК месторо-

Канавы / скважина	Видимая мощность, м	Содержание золота, г/т
K-21	11,0	0,72
K-22	22,0	1,58
K-22	44,0	0,84
K-23	8,3	1,69
K-24	26,0	0,82
K-25	5,0	2,11
K-27	9,0	1,58
K-28	6,0	1,04
K-28	16,0	0,75
K-28	5,0	0,89
UR-07	24,6	0,65
UR-08	17,6	0,83
UR-09	71,0	1,14
UR-10	83,7	0,94
UR-11	118,3	1,12

Табл. 1. Результаты первых буровых работ на участке «Роман» в 2019 г.

Hole-ID	From	Thickness	Grade Au, g/t
UR-07	49,0	24,6	0,65
UR-08	100,0	17,6	0,83
UR-09	58,0	71,0	1,14
UR-10	76,3	83,7	0,94
UR-11	51,7	118,3	1,12

Табл. 2. Скважины по буровой линии А-Б на участке «Роман» в 2019 г.

ждений Врезанное и Токкинское получено в 2020 г. В 2022 г. на экспертизе в ГКЗ находится ТЭО ВК по участку Роман с суммарными запасами не менее 143 т золота.

Как только геологи Нордголд открыли новые рудные объекты (Врезанный и Токкинское), и поняли перспективность территории на новый тип, то обратились к проверенной времени стадийности. На примере полученных эталонных объектов удалось за короткое время, сэкономив хорошие деньги, с помощью аэрогеофизики комплексом ЭКВАТОР опосредованно большую территорию, выделить на ней перспективные площади. При проведении поисковых работ уже найдены месторождение Роман, несколько рудопроявлений (Чуостах, Надежда, Пограничный и др.) и есть перспективы найти еще. Поисковые работы продолжаются.

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 подбоя порфировых объектов (Чульбуткан, Болотистый и др.), окисленных минерализованных зон (объекты Токкинской площади и Гросс). Главное понимать, почему это не было найдено ранее. Геологи работающие до нас были квалифицированные и относились к своей работе ответственно.

Прежде всего изменилась экономика и появились новые, более дешевые способы переработки руды. С приме-

Категория запасов	Запасы руды, тыс. т	Среднее содержание, г/т		Запасы	
		Au	Ag	Au, кг	Ag, т
Балансовые запасы цианируемых руд					
C ₁	14272,70	0,58	1,78	8242,80	25,3
C ₂	58752,30	0,52	2,38	30831,40	139,6
C ₁ +C ₂	73025,00	0,57	2,26	47979,40	164,9
Забалансовые запасы, всего					
C ₁	4164,90	0,46	0,8	1929,10	3,3
C ₂	165958,70	0,6	3,42	99479,20	567,2
C ₁ +C ₂	170123,70	0,6	3,35	101408,20	570,5

Табл. 3. Результаты ГРП на месторождении Роман в 2020 г.

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

Табл. 4. Лучшие рудные интервалы

нением метода кучного выщелачивания промышленные содержания золота сильно снизились. Это хорошо видно на примере наших объектов. Т.е. то, что раньше не могло являться рудой априори, сейчас ей стало. Необходима пла-

номерная 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 доступней и появился шанс проводить более масштабные работы, без излишних затрат на мобилизацию. ♦

Авторы выражают глубокую признательность коллективу компании Нордголд Менеджмент за возможность опубликования представленных материалов.



1. Бабаянц П.С., Керцман В.М., Лёвин Ф.Д., Трусов А.А. Особенности современной аэрогамма-спектрометрии: Разведка и охрана недр. 12, 10–16, 2015.
2. Волковицкий А.К., Каршаков Е.В., Мойланен Е.В. Новая вертолетная электроразведочная система ЭКВАТОР для метода АМПП. Приборы и системы разведочной геофизики. 2, 27–29, 2010.
3. Вольфсон Ф.И. Проблемы изучения гидротермальных месторождений. М. изд. АН СССР. 1953, 304 с.
4. Временные методические указания. Аэрогамма-спектральная съемка территорий, пострадавших в результате аварии на ЧАЭС, испытаниях ядерного оружия, работы предприятий атомной энергетики и промышленности. М. 1990, 346 с. (Госкомгидромет СССР).
5. Инструкция по магниторазведке (наземная магнитная съемка, аэромагнитная съемка, гидромагнитная съемка), М-во геологии СССР. Л.: «Недра», 1981, 263 с.
6. Инструкция по электроразведке (наземная, скважинная, шахтно-рудничная, аэро- и морская электроразведка), М-во геологии СССР. Л.: «Недра», 1984, 534 с.
7. Керцман В.М., Мойланен Е.В., Подмогов Ю.Г. Возможности аэрогеофизики при поисках золоторудных месторождений различного типа. Геофизика, МОУ ЕАГО. 4, 52–59, 2019.
8. Котляр В.Н. О магматических комплексах и оруденении. Советская геология, № 43, 1955. С. 61–70.
9. Кучеренко И.В. Реконструкция золотопродуцирующей способности силикатных расплавов, как основа петрологического и петрохимического прогнозно-поисковых критериев оценки территории на золото. «Золото и технологии», № 2 (20), 2013. С. 70–81.
10. Островский Э.Я. Методические указания по аэрогамма-спектрометрической съемке с кодовым прибором АГС-4К. Москва: М-во геологии СССР, 1974. 135 с.
11. Пегов А.Н. Практические приемы обработки данных в прикладной гамма-спектрометрии. Л., Гидрометеиздат, 1980. 149 с.
12. Техническая инструкция по аэрогамма-спектрометрической съемке: Утв. М-вом геологии СССР 27.08.1976. Москва: М-во геологии СССР, 1977. 188 с.
13. IAEA-TECDOC-1363. Vienna, 2003, 179 p., ISBN 92-0-108303-3.
14. Karshakov E. Iterated extended Kalman filter for airborne electromagnetic data inversion. Exploration Geophysics, 51 (1): 66–73, 2020. DOI: 10.1080/08123985.2019.1593790.
15. Moilanen J., Karshakov E., Volkovitsky A. Time-domain helicopter EM System «Equator»: resolution, sensitivity, universality. 13th SAGA biennial and 6th International AEM conference AEM-2013, Mpumalanga, South Africa, Expanded Abstracts: 1–4, 2013.