

УДК 553.3:550.831

Р. А. АЛЬ-ЖАДИ¹, Р. С. СЕЙФУЛЛИН²

ИСТОРИЧЕСКИЙ ОПЫТ ИЗУЧЕНИЯ ПЕТРОПЛОТНОСТНЫХ МОДЕЛЕЙ МЕСТОРОЖДЕНИЙ И УРОКИ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПОИСКОВ

Пайдалы орындарының талдау кезінде оның тығыздық моделінің эволюциясы көрсетілген. Ауырлық қазба кен күшінің оң және теріс локальдық аномалиясының индикаторлы мағынасы бағаланған. Іздеу объектілерін Dg мағынасының минимумдары нәтижесімен карталаған жөн. Барлау жұмыстарын, жоғары дәлдікпен өлшенген оң қалдық гравитациялық өрістерді талқылау барысында оң шешімін табады.

Рассматривается эволюция плотностных интерпретационных моделей месторождений полезных ископаемых. Оценивается индикаторное значение положительных и отрицательных локальных аномалий силы тяжести. Поисковые объекты (рудные поля) предпочтительнее картировать по минимумам Dg. Разведочные задачи нередко успешнее решаются на основе корректного выделения и количественного истолкования положительных остаточных аномалий высокочастотных гравитационных полей.

Evolution of dense interpretive models of mineral deposits is considered. Indicator value of positive and negative local anomalies of gravity is estimated. It is more preferable to map research objects (ore fields) according to minima of Ag. Prospecting tasks are quite often solved on the basis of correct detection and quantitative interpretation of positive residual anomalies of high-frequency gravitational fields.

Известный знаток рудных месторождений, академик С. С. Смирнов еще в 1946 году писал в «Известиях АН СССР. Серия геол». (№ 5) следующее: «При исследовании рудных месторождений геофизики исключительно редко привлекаются для решения тех или иных вопросов структуры рудного поля. Все внимание обычно обращается на такие приемы, на которые реагировало бы само рудное тело. В то же время во многих случаях геофизиками гораздо легче могут быть обнаружены не рудные тела, а те или иные особенности структуры, имеющие решающее значение в локализации оруденения».

Позже он в капитальном труде «Зона окисления сульфидных месторождений» подмечает тот факт, что между геологами и горняками-отработчиками месторождений извечно существуют взаимные претензии по поводу горной массы, добываемой при разработке. Предсказываемые разведчиками показатели верны по содержанию и по количеству металлов, но систематически превышают по фактически добытой массе. Какая связь между двумя замечаниями академика и какое отношение они имеют к обсуждаемой теме?

Фундаментальная мысль С. С. Смирнова о возможностях геофизики, конечно, была замечена, но не изменила ни стратегию, ни тактику геофизических поисков рудных полезных ископаемых. На многие годы задача обнаружения рудных тел как основных аномалиеобразующих факторов стала для геофизиков определяющей. Такой подход предписывался действующими инструкциями, методическими рекомендациями по методам геофизических исследований. Искушение находить рудные тела непосредственно было очень велико и это представлялось вполне достижимым и желаемым.

Спустя почти четверть века исследователи Алтая известный геолог П. Ф. Иванкин и геофизик М. В. Семенов в статье «О новых задачах рудной геофизики на примере поисков и оценки полиметаллических месторождений» [5] анализируют причины малой эффективности рудной геофизики. По их мнению, которое нельзя не разделить, основная причина кроется в исторически сложившейся нацеленности большинства методов и методик на поиски рудных тел, а не рудных полей. К этому времени геофизики уже имели большой поисково-разведочный опыт по всей

¹ Ливия, г. Триполи, Университет «Аль-Фатх».

² Казахстан. 480013, г. Алматы, ул. Сатпаева, 22^а, Национальный Технический Университет им. К.И. Сатпаева.

территории СССР, который обсуждается широко, профессионально и критически.

Зародилось и успешно развивалось новое направление разведочной геофизики – петрофизика, основными задачами которой стали изучение природы физических свойств и закономерных изменений физических параметров горных пород, особенностей их пространственного распределения. В Казахстане особенно интенсивно проводились исследования в области рудной петрофизики. Основоположники этого направления Л. П. Жоголев, А. А. Смелов и возглавляемый ими коллектив провели масштабные работы на ряде месторождений Центрального Казахстана. Эти исследования способствовали решению специальных геологических задач и разработке основных вопросов методики геофизических работ при поисках твердых полезных ископаемых [4]. В частности, стало очевидным несовершенство модельных представлений геологов и геофизиков, что приводило к неудачам поисковых работ.

Очень поучительна ретроспектива опыта гравиметрических и петрофизических исследований в рудных районах, а также эволюция взглядов на аномалиеобразующие особенности геологического строения рудных полей и их поисковое значение. Для убедительности и объективности основные выводы и заключения приведены в авторском варианте со ссылкой на источники. Ниже будут рассмотрен и проанализирован опыт гравиметрических исследований в рудных районах для важнейших типов, главным образом, эндогенного оруденения. Весьма интересны геофизические «портреты» уральских колчеданных месторождений в сборнике УНЦ АН СССР [11]. Так, по свидетельству Н. Н. Халевина и А. М. Виноградова в районе Гайского медно-колчеданного месторождения на глубине не менее 5 км сейсморазведкой прослежена куполовидное поднятие, над которым наблюдается относительное понижение силы тяжести. Авторы считают, что поисковое значение отмеченных геофизических особенностей очевидно, хотя однозначно природе поднятия объяснить не берутся. Одна из гипотез, вслед за М. Б. Бородаевской, В. С. Трабухиным, Е. С. Контарь [2] высокую продуктивность надкупольной части Гайской жерловины девонского вулкана объясняет «двухъярусным строением, высоким коэффициентом эксплозивности, значительной пестротой пирокластических

унаследованных деформаций». Предполагается существование мощной «... гидротермальной колонны, определившей транспортировку компонент, обусловивших крупные концентрации медно-колчеданных руд». Аналогичная геолого-геофизическая ситуация наблюдается и для Сибайского рудного узла.

Выполненный А. М. Виноградовым, Г. А. Сапацко, В. Н. Виноградовой [11] анализ гравитационных полей в районах 26 известных месторождений показал: 15 рудных полей приурочены к краевым или центральным частям локальных относительных понижений Dg площадью 1–5 км². Эти аномалии могут быть связаны с вулканическими постройками (Молодежное, Озерное, Александровское, Светлинское месторождения), с отдельными субвулканическими телами кислого состава или их группами (рудные поля Блявинского, Комсомольского, Яман-Касинского, Осеннего месторождений), с контактами толщ кислого и основного состава в области брахиантаклиналей, возможно вулканических структур (Учалинское, Жусинское, Бурибаевское, Летнее, Авангард, Кзыл-Кибачи).

«Приведенные особенности гравитационных полей фиксируют характерные черты структурно-магматических условий, при которых происходило формирование рудных полей. На их фоне с различной четкостью выделяются локальные аномалии, которые связаны с рудными телами и зонами обогащенными сульфидной минерализацией».

Исследователи Южного Урала Б. К. Кунщиков, П. Ф. Родионов и др. отмечают такую особенность проявления месторождений Молодежного рудного района в гравитационных полях: «колчеданные месторождения и рудопроявления тяготеют к зонам отрицательных локальных аномалий силы тяжести, в которых преимущественно развиты лавы и пирокласты дацитового и липаритового составов (рудовмещающая толща)».

По заключению И. Ф. Таврина, В. К. Стрехова, Н. Н. Колтышевой, П. Ф. Радинова, «... все известные месторождения и рудопроявления Учалинского района располагаются в зонах локальных отрицательных аномалий силы тяжести, тяготея к их границам». Сама колчеданосная структурно-фациальная зона располагается в относительно повышенном поле Dg , которое характерно для Магнитогорского мегасинклиория.

В 1976 году свои исследования Ревдинского и Полевского рудных районов Среднего Урала П. Ф. Радионов, Н. Ф. Таврин и др. подытоживают следующим образом. В наблюдаемых гравитационных полях выделить эффекты, обусловленные рудными телами, оказывается трудно, так как чрезвычайно сложно определить местный региональный фон. Всеобщей особенностью гравитационного поля в связи с рудообразованием является пониженные значения Dg и наличие локальных минимумов на рудных участках, которые приурочиваются «...к краевым частям отрицательных локальных аномалий силы тяжести и в большинстве случаев совпадают с локальными магнитными аномалиями».

А. Т. Канеев, В. Ф. Штифанов, Н. Г. Утешев, В. И. Соскинд по итогам опережающих и сопровождающих геологическую съемку геофизических работ в Актогайском рудном районе [6], оценивают поисковую эффективность методов геофизики на медно-порфировое оруденение. Отмечая важную индикаторную роль аномалий ВП, ореолов литогеохимии, авторы статьи считают, «...что наиболее эффективным является комплексный подход к решению задачи». На стадии общих поисков высокоэффективными являются электроразведка ВП, магниторазведка и литохимия. Почему-то не подчеркнута роль гравиметрии как объемно-картировочного поискового метода, который реагирует (по С. С. Смирнову) на рудное поле, что вытекает из следующей цитаты.

«В гравитационном поле наиболее четко отмечается месторождение Айдарлы в виде локальной отрицательной гравитационной аномалии изометричной формы. Месторождения Актогай и Кызылкия располагаются в пределах довольно обширных понижений гравитационного поля. При этом первое из них тяготеет к зоне градиентов поля и четко отмечается локальной отрицательной гравитационной аномалией, второе приурочено к западной краевой части более обширной аномалии». Сказалось неприятие отрицательных аномалий Dg в качестве поискового критерия, который типичен для медно-порфировых месторождений и не только. Пример открытия месторождения полностью погребенного под рыхлыми отложениями по локальному гравитационному минимуму описан в работе [3].

Известно, что медно-никелевая минерализация, располагаясь в разновозрастных и разнотипных комплексах вмещающих пород и тектонических структурах, генетически тесно связана с базальтоидными формациями. Схожесть физико-химических процессов формирования медно-никелевых месторождений обуславливает некоторую общность региональных геофизических характеристик площадей с промышленным оруденением в различных районах мира. Анализ особенностей геофизических аномалий более чем 500 проявлений $Cu-Ni$ минерализации Балтийского, Канадского и Австралийского Шитов, Воронежского массива, докембрия Прибайкалья, Северо-запада Сибирской платформы, выполненный Н. В. Головиным, Э. Н. Супруненко и М. Н. Сусловым (1976) дал такую обобщенную геофизическую характеристику промышленно никеленосных рудных узлов: «... относительные минимумы и прилегающие к ним краевые зоны максимумов аномалий силы тяжести, располагающихся на фоне положительных значений региональной составляющей магнитного поля».

Очень интересные своей нетрадиционностью данные получили Г. Р. Бекжанов, В. Б. Македон, Х. Б. Абылхожин [1] в результате обобщения гравимагнитных материалов по обширной территории Центрального Казахстана. Проанализировав особенность размещения свинцово-цинковых месторождений в структуре региональных магнитных и гравитационных полей, исследователи констатировали: «В гравитационном поле все известные полиметаллические месторождения сконцентрированы в пределах Центрально-Казахстанского гравитационного минимума, располагаясь либо в относительных понижениях значений поля, либо в зонах градиента. Отмечаются также их приуроченность к отрицательным локальным аномалиям Dg ». Для конкретизации положения месторождений в полях выработаны системы независимых признаков (18 магнитных, 11 гравитационных). Из них в качестве «сквозных» характерных для всех месторождений гравитационных признаков были выделены:

Относительные понижения гравитационного поля;

приуроченность к отрицательным локальным аномалиям;

приуроченность к повышенным градиентам поля Dg .

Полученный результат может быть расценен как неожиданный (невероятный) или, по крайней мере, не укладывающийся в укоренившиеся представления геофизиков о гравитационном имидже геологической аномалии, каковой является рудный объект. Полученный результат представляется закономерным и типичным для большинства эндогенных месторождений различного типа. В этом убеждении помогают опыт петрофизических исследований в рудных районах и неформальный подход к построению физико-геологических моделей поисковых объектов и истолкования геофизических полей.

Второе замечание С. С. Смирнова напрямую связано с ошибками и просчетами геологов и геофизиков при наделении физическими свойствами руд и околорудного пространства для многих типов эндогенных месторождений. В отношении плотностных моделей поисковых объектов особенно заметно выявились их петрофизическое несовершенство, упрощенность и недостаточность представления о пространственном распределении свойств и их изменчивости в связи с рудогенезом и гипергенезом.

О каких же недочетах и неточностях в оценке петроплотностных свойств идет речь? Это ошибки в геометризации и параметризации исходных геологических моделей, имитирующих реальные геологические объекты. Особенно фатальны неверные подходы к оценке плотностных параметров окисленных руд сульфидных месторождений. Вот цитата академика С. С. Смирнова: «Известны случаи, когда после многолетних разведочных работ и при начавшейся уже эксплуатации обнаруживается почти полуторное преувеличение удельного веса окисленных свинцовых руд». Это происходит за счет недоучета пористости, достигающей 50%. Для случая руд Санта Евлапия Прескотт, по свидетельству академика, при теоретической плотности $4,1 \text{ г/см}^3$ в целике оказалось всего $2,3 \text{ г/см}^3$. Извечный спор горняков и геологов по поводу добытой горной массы рожден непредставительностью определений объемных масс пород и руд, которые выполнялись разведчиками преимущественно по штуфным пробам и, естественно, давали завышенные плотности. Точный учет общего объема горной массы, подлежащей выработке при добыче, выполнялся крайне редко и только по

инициативе геологов-разведчиков, истинных рудознатцев.

Известный знаток Жайремских месторождений А. А. Рожнов в отчете о разведочных работах за 1959–1970 гг. отмечает, что для балансовых руд в 72 блоках с учетом поправки на пористость была получена средняя плотность $1,88 \text{ г/см}^3$. А для богатых свинцово–цинковых «сажистых» руд, представляющих заметную долю запасов, средняя плотность методом выемки из целика определена в $1,60 \text{ г/см}^3$. Это хорошо согласуется с исследованиями В. Г. Ли, Е. Д. Беланова и др. [7], которые тем же объемно-весовым методом получили на Узынжальском месторождении средние плотности свинцово-цинковых руд в зоне выветривания всего $1,80 \text{ г/см}^3$.

Ценную количественную петрофизическую характеристику приводят специалисты ПГО «Севморгеология» для глубоководных полиметаллических сульфидов (ГПС) и вмещающих базальтов океанического фундамента [19]. «Установлено, что пористость слабо измененных базальтов морского дна составляет 1–18% (мода 10%), а в зонах гидротермально измененных пород может повышаться до 20–60%. Для плотности эти значения составляют соответственно $3,0–2,6 (2,75)$ и $2,6–1,7 \text{ г/см}^3$. Плотность массивных ГПС со средней пористостью 15–20% и содержанием сульфидов 60–80% составляет $3,1–3,4 \text{ г/см}^3$, в то время как плотность высокопористых сульфидоносных осадков Б и построек гидротермальных источников может уменьшиться до $1,9–2,4 \text{ г/см}^3$ ».

Все приведенные данные о плотностях рудных и околорудных образований требуют очень выверенного и строгого подхода к параметризации исходных физико-геологических моделей. Значение этого важнейшего этапа интерпретации чрезвычайно велико, так как неверные посылки в моделях низкого уровня сказываются на моделях высокого уровня детальности.

Очень существенные погрешности физико-геологического моделирования исследователи допускают при оценке глубин разуплотнения, которые, как правило, сильно занижены вне рудных полей и особенно в их пределах.

Вот как описывают Р. Н. Кириллов и др. [6] особенности гравитационных полей и результаты модельного подбора для полиметалличес-

ких месторождений атасуйского типа: «Все расчетные эффекты представляют собой очень пологие кривые силы тяжести (градиент порядка 10 E) даже при максимальных значениях избыточных плотностей свинцово-баритовых руд (до $1,5 \text{ г/см}^3$). Наблюденная кривая в отличие от расчетной характеризуется большим градиентом (около 25 E). В результате моделирования до совпадения с наблюдаемыми была значительно увеличена (по сравнению с геологическими данными) мощность коры выветривания и зоны дезинтегрированных пород».

К этому вынуждены прибегать все гравиметристы, которые понимали необходимость учета влияния так называемых рыхлых отложений верхней части разреза (ВЧР). Проблема актуальна для гравиразведки и ее решение характеризуется множеством подходов, но наиболее конструктивно, по нашему мнению, оказывается геологическая редукция. В этом варианте успех зависит от достоверности априорных сведений и интуиции исследователя.

Касаясь априорных данных о глубине разуплотнения ВЧР и ее оценки геофизиками, необходимо отметить следующее. Глубина распространения древних площадных кор выветривания по геологическим данным, как правило, сильно занижена по сравнению с глубиной физического и химического преобразования горных пород, приводящих к разуплотнению ВЧР. Наш опыт геофизических исследований и анализ поисково-картировочных буровых работ в Жайремском районе убедительно показывают, что гипергенные изменения и горных пород, и руд существенно меняют петрофизический имидж аномалиеобразующих объектов. Площадная кора выветривания по данным денситометрии керна повсеместно имеет мощность значительно больше, чем принята по геологическим признакам. В рудных участках нижняя граница разуплотнения нередко «ныряет» до глубины 300 м и более, выделяя «карманы» новообразований, обладающие недостаточной плотностью [10]. В упомянутом выше отчете А. А. Рожнова и др. приведены разрезы, на которых в разведанных рудных телах выделены блоки балансовых Pb – Zn руд, которые наделены плотностями $2,00 - 2,30 \text{ г/см}^3$ на глубинах до 150 м и $2,80 - 2,90 \text{ г/см}^3$ ниже. Плотность безрудных пород с глубиной изменяется от $1,90$ до $2,70 \text{ г/см}^3$. контактная поверхность отделяет-

ся, плотные руды ($2,90 \text{ г/см}^3$) и породы ($2,70 \text{ г/см}^3$) «ныряют» до 300 м.

По устному свидетельству Р.Г. Жилинского, следы зон окисления месторождений Рудного Алтая установлены на глубинах 300 м и более. Можно полагать, что это окажется нижней границей разуплотнения по физическим характеристикам, с учетом которой необходимо проводить геологическую редукцию.

Уникальные по комплектности детальности и информативности данные приведены в материалах исследований Ю. С. Набокова и П. В. Портнягиной [8] по Спасскому участку Жезказганского рудного поля. Здесь есть возможность сопоставить на одном разрезе поведение плотностных границ (денситометрия по керну) до глубины 600 м и более, сейсмических горизонтов, данных детальной высокоточной (сеть 100×100 м, погрешность менее $0,05 \text{ мГал}$) гравиметрии, результатов буровой разведки. Линии равных значений плотности – изоденсы по конфигурации не совпадают с сейсмическими границами и отражают разуплотнение ВЧР, которое фиксируется кривой D_g с поправкой на влияние рыхлых отложений. На участке профиля протяженностью около 600 м в районе скважин, пересекших слепое рудное тело на глубине 350 – 400 м изоденсы резко погружаются, образуя надрудный разуплотненный карман, который отмечен локальной отрицательной гравитационной аномалией.

Сейсмические границы не отмечают плотностной карман, вероятно из-за недостаточной детальности сейсморазведки. Это необходимо иметь в виду при использовании обычной сейсмометрии для учета влияния подземного рельефа в гравиразведке.

А. А. Смелов и др. [10] трактуют области разуплотнения горных пород как основной элемент рудообразующей системы, формирующий гидrogenно-эпигенетическое оруденение жезказганского типа. По мнению исследователей благоприятное сочетание геолого-структурной обстановки с установленными петрофизическими, геофизическими и геохимическими особенностями областей палеогипергенного выщелачивания имеет прогностическое значение для выделения рудных полей аналогичных Жезказганскому. В ряде статей А. А. Смелов с соратниками методологически обосновал и убедительно показал практическую эффективность использования

предложенного им комплексного показателя геофизической аномальности геологического пространства для прогнозной оценки рудных районов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бекжанов Г.Р., Македон В.Б., Абылхожин Х.Б. Особенности размещения свинцово – цинковых месторождений Центрального Казахстана в структуре региональных геофизических полей // Изв. АН КазССР. Сер. геол. 1975. №1.

2. Бородаевская М.Б., Трабухин В.С., Контарь С.С. Реконструкция девонских палеовулканов в Гайском рудном районе. Вопросы палеовулканизма: Тр. ЦНИГРИ. 1970. Вып. 29.

3. Боронаев В.А., Подгорнов В.М. и др. Методика поисков погребенных медно-порфировых месторождений в Северном Казахстане // Геология медно-порфировых месторождений. Алма-Ата, 1971.

4. Возможности использования физических свойств горных пород и руд при поисках рудных месторождений и изучении интрузивных массивов. Алма-Ата, 1962.

5. Вопросы рудной геофизики Сибири: Тр. СНИИГ и МС. 1967. Вып. 53.

6. Геофизические исследования при поисках и разведке рудных месторождений в Казахстане: Сб. тезисов. Алма-Ата, 1978.

7. Ли В.Г. Об определении объемного веса и коэффициента влажности руд // Разведка и охрана недр. 1954.

8. Набоко Ю.С., Портнягина П.В. Плотностной разрез Жиделисайской и Джезказганской свит Джезказганского рудного поля. «Земная кора Казахстана». Алматы, 1967.

9. Пискарев А.Л., Андреев И.С., Рахин В.А. Петрофизика рудных месторождений. Тезисы докл. Всесоюзного НТ семинара.Л., 1990.

10. Сейфуллин Р.С., Уразаев Б.М. Некоторые новые аспекты поисков стратиформенных полиметаллических месторождений по данным гравиразведки и магниторазведки. Тезисы докл. Всесоюз. Семинара им. Д.Г. Успенского Алма-Ата, 1990.

11. Смелов А.А., Попов А.А., Джунусов Т. Прогнозирование гидрогенно-эпигенетического оруденения типа медистых песчаников на петрофизической и формационно-геофизической основе // Геология и разведка недр. Алматы. 1994, № 1. С. 32-37.

12. Строение и развитие земной коры и структур рудных полей Урала по геофизическим данным. Тр. УНЦ АН СССР. Свердловск 1976.