Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. XLIII, вып. 2, 1962 г.

ПОИСКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ БОКСИТОВ В КАРСТОВЫХ ВОРОНКАХ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ

Д. Г. Успенский

Геофизические методы при поисках месторождений бокситов начали применяться в Советском Союзе и за рубежом свыше 20 лет назад [1—14]. Многие методические вопросы долгое время оставались недостаточно изученными. Это приводило к большим непроизводительным затратам и задерживало развитие применения геофизических методов и открытие новых месторождений бокситов.

В результате многолетней работы по поискам месторождений бокситов нами был предложен и опробован на практике метод комплексных работ с применением геофизических исследований детальной геоморфологической съемки, речного—обломочного метода и шурфовых работ. На основании этих данных были открыты новые месторождения бокситов.

В области месторождений бокситов развит комплекс отложений различного возраста от архея до кайнозоя. Наиболее распространены верхнепротерозойские, синийские и отчасти кембрийские отложения, представленные различными сланцами, песчаниками, кварцитами и карбонатными породами. Имеется ряд интрузий от кислого до основного и ультраосновного составов. Наиболее развиты гранитные интрузии, приуроченные главным образом к оси основного антиклинория, протягивающегося с юго-востока на северо-запад через весь кряж. Во многих местах развиты амфиболиты, образующие отдельные тела неправильной или дайкообразной формы. Коренные породы покрыты, как правило, современными элювиальными, делювиальными и аллювиальными отложениями. Естественные обнажения коренных пород встречаются редко, что очень затрудняет геологическое изучение месторождений бокситов.

Карбонатные древние породы имеют карстовые воронки, выполненные рыхлыми бокситоносными отложениями с бокситами. Бокситоносные отложения представлены пестроцветными глинами, углистыми глинами, реже — песками. Карстовые воронки по форме можно разделить на несколько типов. В плане одни из воронок имеют округлую форму, другие — более или менее вытянуты по простиранию карбонатных карстующихся пород или по направлению контакта этих пород с амфиболитами, кварцитами и т. п. Диаметр воронок для различных месторождений изменяется от 30 до 200 *м* (рис. 1). Вопросы о формах

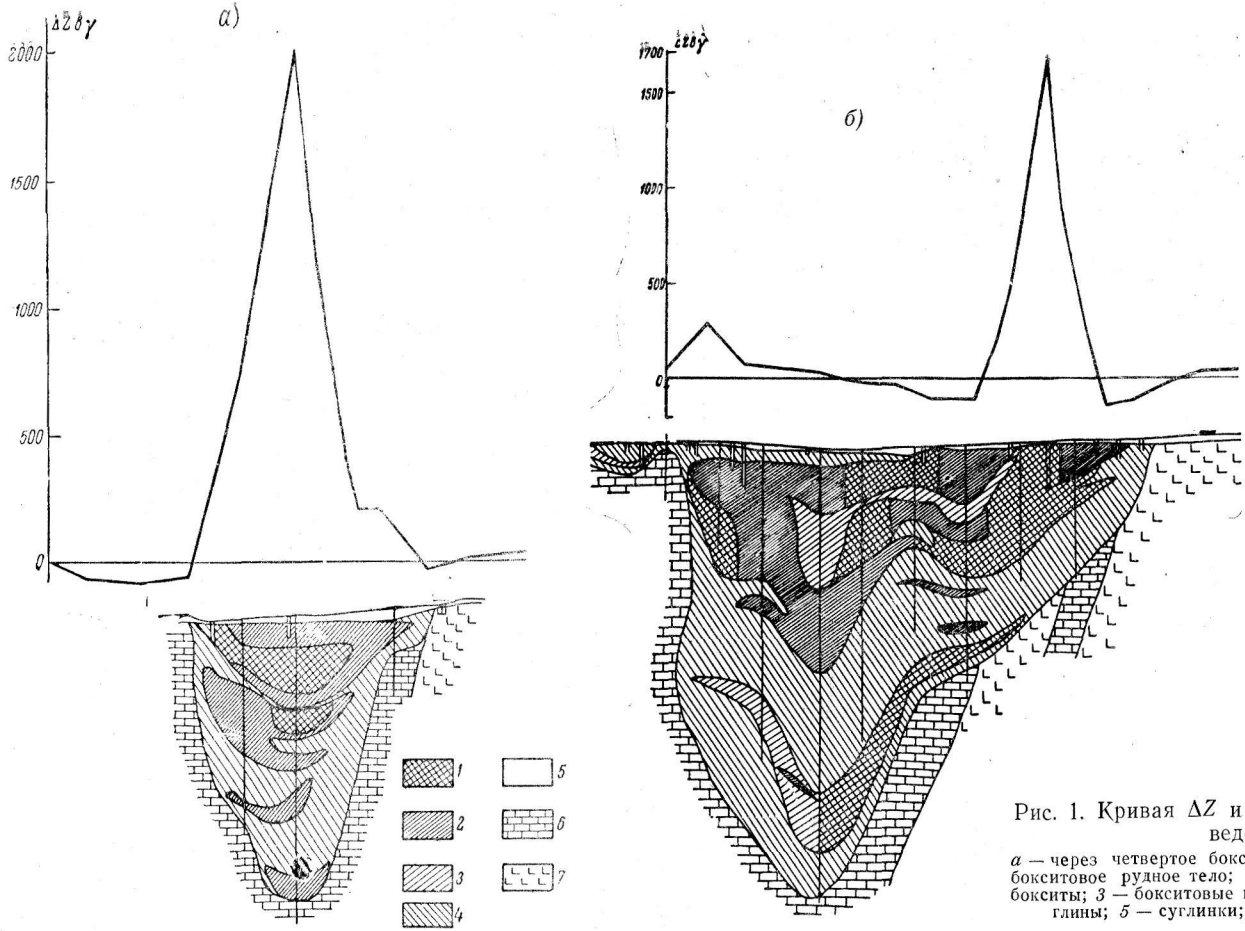


Рис. 1. Кривая ΔZ и геологический разрез для разведочных линий:

а — через четвертое бокситовое рудное тело; *б* — через третье бокситовое рудное тело; *1* — рыхлые бокситы; *2* — глинистые бокситы; *3* — бокситовые глины; *4* — вмещающие пестроцветные глины; *5* — суглинки; *6* — известняки; *7* — амфиболиты

стенок и дна воронок, о наличии на глубине горизонтальных карстовых полостей, возможно выполненных бокситоносными отложениями, изучены слабо, так как бурения по известнякам вокруг известных воронок, как правило, не производилось. Такие одиночные скважины (скв. *1—5*, рис. 2) показали, что местами стенки воронок имеют очень сложную форму с нависающими верхними частями, бокситоносными отложениями и бокситами под этими нависающими стенками. Для уточнения формы и размеров карстовых воронок, вмещающих бокситы, в дальнейшем очевидно, потребуются специальные геофизические, электроразведочные [3, 10], сейсморазведочные [11] и буровые работы.

Бокситы залегают среди пестроцветных рыхлых бокситоносных отложений в карстовых воронках и образуют рудные тела неправильной формы и сложного состава. Можно выделить рудные тела изометрической формы, вытянутые горизонтально и вертикально. Бокситы разделяются на три типа: каменистые, рыхлые и глинистые. Кроме того, распространены и бокситовые глины, которые обычно не соответствуют кондициям. Среди кондиционных бокситов первое место занимают рыхлые. Каменистые бокситы встречаются в виде обломков и глыб и иногда образуют небольшие скопления. Все они в различной степени ожелезнены и соответственно разноцветны: сильно ожелезненные бокситы — красные или буро-красные, очень слабо ожелезненные — желтоватые, беловатые, «отбеленные».

Для каменистых и рыхлых бокситов характерна ясно выраженная бобовая структура. Бобовины составляют около 50% общей массы боксита. Эти бокситы содержат главным образом гиббсит, в меньшем количестве — гематит и водные окислы железа, а также немного кварца. В виде примесей присутствуют маггемит, магнетит и ильменит. В глинистых бокситах повышено содержание кремнезема и только светлые разности относятся к кондиционным рудам. Руда соответствует требованиям ГОСТ 972—50, причем преобладают марки Б-7 и Б-8.

Магнитная восприимчивость резко различна для руд рыхлых и каменистых бокситов и вмещающих пород: от практически немагнитных разностей руд до разностей с магнитной восприимчивостью около 0,3 *cgsm*. Остаточная намагниченность также меняется в очень широких пределах. Опытные работы по вычислению суммарного значения намагниченности горных пород и руд в их естественном залегании проведены нами одновременно с вычислением элементов залегания рудных тел, использованием построенных логарифмических палеток для брусообразных тел и рассмотрением средних сечений для вытянутых рудных тел.

Результаты вычисления интенсивности намагничения руд и пород (в $1 \cdot 10^{-6}$ *cgsm*)

Рыхлые бокситы

Месторождение № 1, рудное тело 3:	
восточная часть	17 000
западная	3 400
средняя	1 000

Рыхлые и глинистые бокситы

Месторождение № 2, рудное тело 4:	
центральная часть	11 000
южная	8 000
северная	4 000

Рыхлые и каменистые бокситы

Месторождение № 2, рудное тело 3:	
центральная часть	4 000

Рыхлые бокситы

Месторождение № 3, рудное тело 1:	
северная часть	1 700
центральная	1 800

Бокситовые ожелезненные глины

Месторождение № 3	860

Сульфидное пирротиновое оруденение в сланцах

Месторождение № 2:	
центральная часть	9 500
северная	8 500

Амфиболиты

Месторождение № 1, участок рудного тела 3	360

Амфиболовые сланцы

Месторождение № 2	300

Слюдистые сланцы

Месторождение № 2	50

Как видно из приведенных данных, бокситы, слагающие разные части рудных тел, имеют различные значения интенсивности намагничения. У некоторых разностей бокситов нижний предел значений интенсивности намагничения близок нулю. Вмещающие известняки и различные сланцы практически немагнитные. Сланцы с сульфидным пирротиновым оруденением, амфиболиты и амфиболовые сланцы имеют повышенные значения намагниченности. Кроме магнитных аномалий, обусловленных бокситами, встречаются магнитные аномалии, обусловленные действием сульфидного оруденения амфиболитов, амфиболовых сланцев и др. Это значительно осложняет применение магниторазведки при поисках рудных тел и заставляет изыскивать дополнительные методы для разделения многочисленных магнитных аномалий на рудные и безрудные.

Определение плотности горных пород и руд показывает, что бокситоносные отложения имеют пониженную плотность (2,2 *г/см*^{3}) по сравнению с мраморизованными известняками (2,7 *г/см*^{3}). Однако у некоторых пород, залегающих в непосредственной близости от рудных тел, плотность также различна: амфиболиты — 2,9 *г/см*^{3}; глинистые сланцы — 2,5 *г/см*^{3}. Таким образом, при гравиразведочных работах карстовые воронки, выполненные бокситоносными отложениями, должны выделяться на карте изоаномал небольшими по интенсивности и площади распространения отрицательными аномалиями — до 0,5—1,0 миллигала. Но на эти аномалии должны накладываться аномалии, обусловленные действием других геологических объектов. Более рационально проводить работы с градиентометром или высокоточным гравиметром. Над бокситоносными карстовыми воронками можно ожидать аномальных значений градиента до ±70 этвешей. На участках со сложным характером рельефа его влияние будет, однако, создавать помехи при вариометрических работах.

Результаты параметрических замеров удельного электрического сопротивления показывают, что у бокситоносных отложений с рудными бокситовыми телами сравнительно пониженное удельное сопротивление, но оно изменяется в широких пределах — от 10 до 900 *ом·м*; для каменистых бокситов, составляющих обычно небольшую часть рудного

тела, — от 400 до 1400 *ом·м*. Вмещающие известняки по этим определениям имеют удельное сопротивление 3200—11 000 *ом·м*. У других же горных пород, залегающих вблизи рудных тел, низкие удельные сопротивления: например, у амфиболитов от 50 до 170 *ом·м*, у слюдистых сланцев от 80 *ом·м* и выше и т. д. Кроме того, все эти породы покрыты обычно суглинками с удельным сопротивлением от 50 *ом·м* и выше. При изменении мощности рыхлых отложений кажущееся удельное сопротивление должно изменяться в значительных пределах. Бокситоносные отложения, залегающие в карстовых воронках, должны обусловливать местные аномалии на очень небольших площадях с понижен-

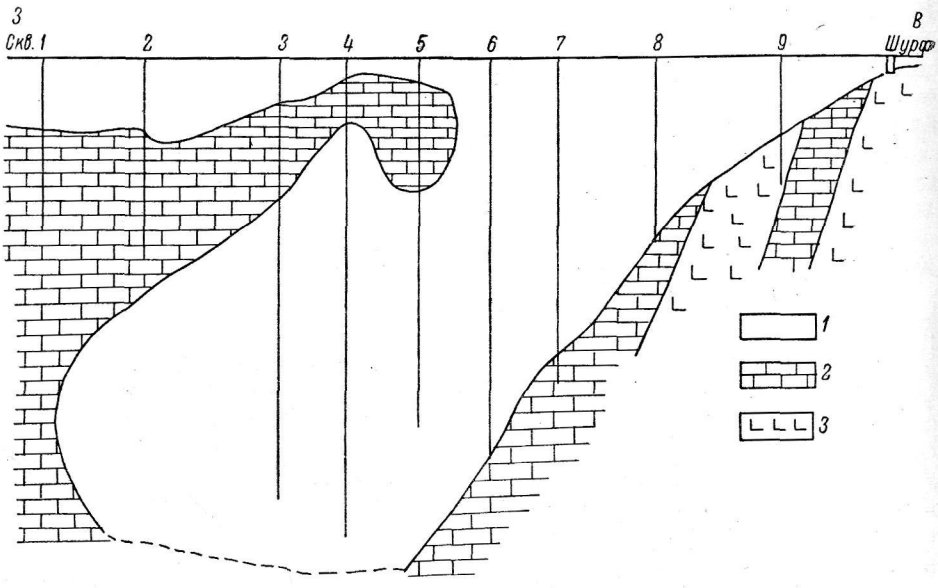


Рис. 2. Геологический разрез через северную оконечность одного из рудных тел месторождения (по данным буровых работ):
1 — бокситоносные отложения с бокситами; *2* — известняки; *3* — амфиболиты

ными значениями кажущегося удельного сопротивления, однако наличие каменистых бокситов и боковое действие близко расположенных бортов воронки должны до некоторой степени затушевывать эти аномалии. Кроме того, амфиболиты, слюдистые сланцы и другие горные породы, залегающие непосредственно у рудных тел, должны также создавать аномалии с пониженными значениями кажущегося сопротивления. Все это осложняет непосредственное выявление при помощи электроразведки карстовых воронок, выполненных бокситоносными отложениями с каменистыми бокситами.

В рассматриваемых условиях опыт примененной нами электроразведки дал положительные результаты при расчленении геологического разреза в геологическом картировании.

При поисковых геофизических работах особо важное значение имеет выбор перспективного участка. Для этого использовались геологические и геофизические методы. Так, например, изучались потоки рассеяния гальки боксита в аллювии и ореолы рассеяния в делювии. Поток рассеяния в аллювии изучался и попутно со шлиховым опробованием, и отдельно путем тщательного просмотра гальки боксита в лотке перед промывкой шлихов. Оба эти способа дополняют друг друга, так как

в удалении от месторождения галька не всегда может попасть в пробу — в лоток, а на отмелях в русле реки красная галька каменистого боксита хорошо заметна. Поиски обломков бокситов в делювии были трудоемки и проводились в шурфах. Вся рыхлая порода, выбрасываемая при проходке из шурфа, немедленно просматривалась для поисков гальки боксита. При наличии редких обломков боксита лучшие результаты дали поиски гальки боксита непосредственно самим забойщиком при кайлении и работе штыковой лопатой. Во всех случаях эти работы по поискам гальки и обломков боксита позволили довольно точно установить зоны питания аллювия галькой боксита.

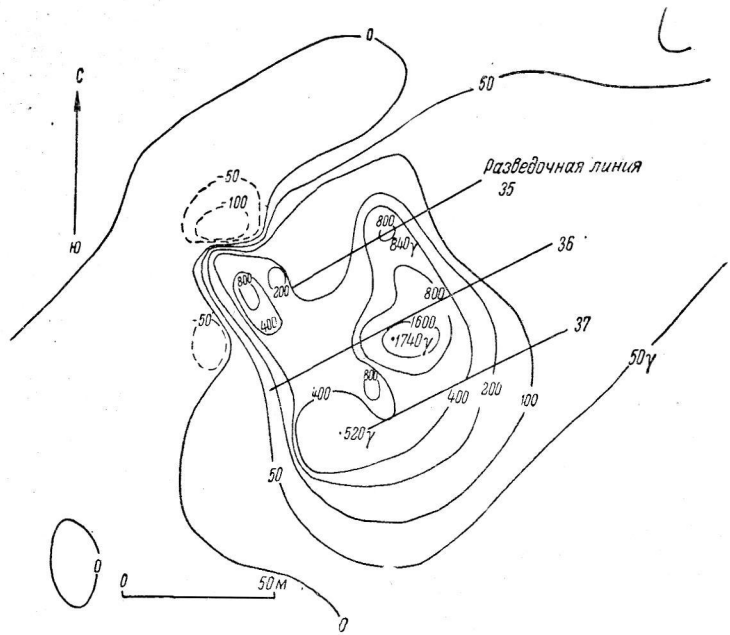


Рис. 3. План изодинам ΔZ на участке пятого бокситового рудного тела

Большое значение при проведенных работах имела детальная геоморфологическая съемка в масштабах: 1 : 10 000 и 1 : 2000. На водораздельных пространствах удавалось обнаружить местные, обычно блюдцеобразные понижения рельефа, имеющие контуры карстовой воронки и глубину всего 0,2—0,4 *м* (очевидно, вследствие постепенного уплотнения рыхлого материала в воронке). При выделении площадей развития карстующихся известняков большую помощь оказало применение метода электроразведки. Сопоставление полученных данных — наличия карстующихся известняков по геологической, литологической картам и карте изоом (обычно зоны высоких удельных сопротивлений), наличия геоморфологических указаний на присутствие карстовых воронок, наличия обломков и гальки боксита в аллювии и делювии — позволяло уверенно выбирать наиболее перспективные участки для проведения поисковых геофизических работ.

При проведении поисковых работ на этих участках ведущим следует считать метод магниторазведки. Наблюдения с магнитометром М-2 целесообразно проводить по сети 40×50 и 40×100 *м* в зависимости от геологических особенностей участков. При такой съемке особо выделяются перспективные зоны, в пределах которых сеть пунктов необхо-

димо сгущать до 20×40 *м*, а в центральной зоне магнитных аномалий — до 2×2 *м*. Обнаруженные при поисковой съемке аномалии немедленно должны исследоваться по более густой сети с закреплением центра аномалии на местности столбами. Средняя квадратическая ошибка при наблюдениях с магнитометрами М-2 должна быть порядка ±10—20 γ. При детализационных работах следует практиковать частое возвращение магнитометра на полевой контрольный пункт. Точность наблюдений при этом значительно повышается.

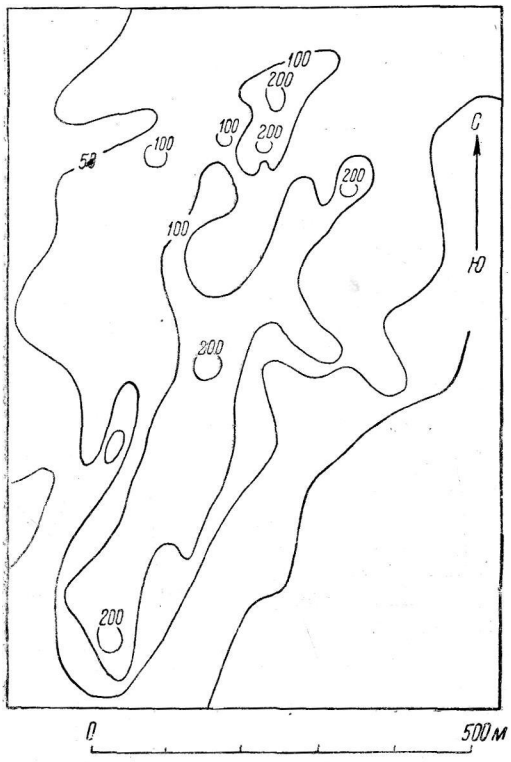


Рис. 4. План изодинам ΔZ над выходом амфиболитов

Магнитные аномалии на перспективных площадях развития известняков и сопредельных площадях делятся на четыре типа со следующими характерными особенностями:

1. Контуры изодинам ΔZ приближаются к изометрической форме, охватывают сравнительно небольшие площади, приуроченные к известнякам и контактам их с амфиболитами и кварцитами. Положительные аномалии сравнительно интенсивнее, ΔZ иногда достигают 2000 γ, отрицательные — очень незначительные. Эти аномалии особо перспективны в поисках бокситов (рис. 3).

2. Контуры изодинам ΔZ сильно вытянуты в направлении преимущественного простирания тел амфиболитов и охватывают сравнительно большие площади. Аномалии менее интенсивные, ΔZ иногда достигают 500 γ, отрицательные аномалии очень незначительные (рис. 4). Эти аномалии обусловливаются действием залежей амфиболитов.

3. Контуры изодинам ΔZ имеют такой же вид, как и у второго типа, но расположены в непосредственной близости от контакта гранитного массива с вмещающими породами. Положительные аномалии сравнительно интенсивные, иногда достигают 1500 γ, отрицательные — очень незначительные. Эти аномалии обусловлены действием пород, залегающих вблизи контакта, возможно скарнового характера.

4. Контуры изодинам ΔZ имеют мозаичный характер: значительные положительные аномалии, достигающие 10 000 γ, на протяжении десятка метров сменяются отрицательными аномалиями, достигающими 5000 γ. Аномалии эти обусловлены своеобразным характером сульфидного пирротинового оруденения, обнаруженного нами в нескольких районах. На рис. 5 приведена кривая ΔZ по одному из профилей через аномалии этого типа.

При рассмотрении отдельных рудных магнитных аномалий устанавливается неоднородность намагничения бокситов. На рис. 1, *а* приведены кривая ΔZ над рудным телом и геологический разрез по разве-

дочным данным. Аномалия обусловлена действием магнитных частей рудного тела, вскрытого буровыми скважинами и шурфами. Рудное тело состоит из нескольких частей, имеет сложное строение и включает рыхлые и глинистые бокситы. В рыхлых бокситах встречаются включения каменистых. Как показывает теоретическая кривая, аномалия создается не всей рудной массой, а только некоторой ее частью, расположенной в центре воронки.

На рис. 1, *б* приведены кривая ΔZ над рудным телом и геологический разрез по разведочной линии. Над средней частью рудного тела, где оно имеет наибольшую вертикальную мощность, магнитная аномалия отсутствует. Только над краевыми частями рудного тела отмечаются максимумы кривой ΔZ, обусловленные действием магнитных разностей бокситов. Третий максимум находится в восточной части профиля и обусловлен действием развитых амфиболитов.

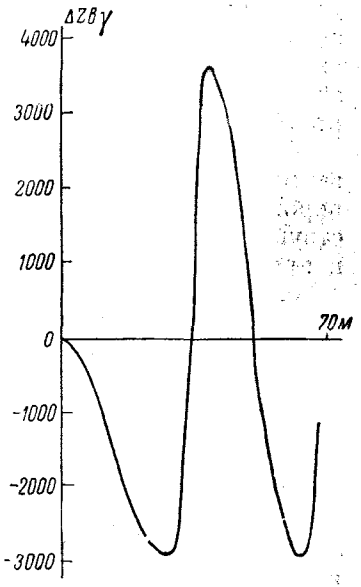


Рис. 5. Кривая ΔZ для профиля через зону сульфидного (пирротинового) оруденения

Таким образом, при помощи магниторазведки нельзя установить размеры рудного тела или карстовой воронки, выполненной рыхлыми бокситоносными отложениями. Магниторазведка дает указание на присутствие сравнительно сильно магнитных разностей бокситов, занимающих какую-то ограниченную часть рудного тела.

Химические анализы бокситов из буровых скважин 29 и 40, пробуренных в зоне максимума, отмечают повышенное содержание железа (до 41%) по сравнению со средним содержанием железа (16%) в бокситах скважины 16, в средней части залежи — в зоне почти нормального магнитного поля. По-видимому, повышение магнитного эффекта идет параллельно с увеличением степени ожелезнения бокситов.

Возможно, существуют рудные тела с сильными магнитными частями на сравнительно большой глубине или совсем лишенные их. Такие рудные тела могут быть не замечены при применении только одного магнитного метода. Для решения вопроса о возможном присутствии таких тел следует использовать методы электроразведки и гравиразведки.

Выводы

1. Особо важное значение при постановке поисковых геофизических работ на бокситы имеет выбор перспективных участков.

Отсутствие положительных результатов геофизических поисковых работ на бокситы объясняется проведением съемок на неперспективных участках.

2. При выборе перспективных участков следует использовать литологические карты с указанием площадей развития карстующихся известняков, данные электроразведочных работ (обычно зоны высоких удельных сопротивлений над известняками) и геоморфологические детальные съемки для уточнения границ этих площадей, а также метод прослеживания гальки и обломков каменистого боксита в аллювии и

делювии для установления области питания аллювия этой галькой — области местонахождения рудных тел с каменистыми бокситами.

3. На выделенных таким способом площадях необходимо ставить магнитометрическую съемку по сети 40×50 *м* или 40×100 *м* (в зависимости от геологических особенностей участков) для выявления перспективных магнитных аномалий. На площадях распространения этих аномалий необходимо проводить более детальные магнитные работы по сети 20×20 *м* со сгущением 2×2 *м*, более детальные геоморфологическую съемку и поиски обломков бокситов, а также шурфовые работы для уточнения рудной природы аномалий и вскрытия новых месторождений бокситов. Бесплодность многих магнитометрических поисковых работ объяснялась проектированием этих съемок в безрудных зонах низких удельных сопротивлений — ошибками методического характера.

4. Наличие перспективных магнитных аномалий, карстующихся известняков, геоморфологических указаний на присутствие карстовой воронки, обломков и гальки бокситов в аллювии и делювии, свидетельствующих о природе аномалии, позволяет уверенно проектировать и проводить шурфовые работы по вскрытию месторождений бокситов.

5. При подобных работах в поисковых отрядах нами было открыто пять новых месторождений бокситов, месторождение титановых руд и ряд зон сульфидного пирротинового оруденения. Кроме того, были дополнительно исследованы рудные тела нескольких месторождений бокситов.

6. Особо важное значение имеет организация опытных комплексных работ по поискам рудных тел, не вызывающих магнитных аномалий (не имеющих магнитных разностей бокситов или имеющих эти разности на глубине). Такие рудные тела могут содержать очень ценные слабожелезистые бокситы. В подобных случаях целесообразны специальные работы методами гравиразведки (градиентометрами или высокоточными гравиметрами), электроразведки, детальной геоморфологической съемки, шурфования и бурения на участках уже известных месторождений, а затем и на новых участках. Перспективность этих новых участков должна быть предварительно достаточно обоснована.

7. Большое значение имеет организация опытных комплексных работ на известных месторождениях по определению истинной формы карстовых воронок и по поискам еще не известных частей рудных тел, возможно находящихся под нависающими частями стенок карстовых воронок (см. рис. 2) и в горизонтальных полостях на глубине. В этих горизонтальных полостях, которые должны бы образоваться в результате деятельности карстовых вод, уходящих из карстовых воронок, могут быть сосредоточены громадные, еще не разведанные запасы бокситов. Для этого целесообразны опытные работы методами электроразведки и сейсморазведки с проверкой результатов бурением.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андреев Н. С., Андреева К. С. Опыт сейсмических работ на месторождениях бокситов. Тр. Ин-та ВИТР, 1958, № 1.

2. Горецкий Ю. С., Лаврович Н. С., Любимов А. А. Оценка месторождений при поисках и разведках. Бокситы, 1949, вып. 10.

3. Головцын В. Н. О возможности применения электроразведки для решения некоторых геологических задач при поисках бокситов. Тр. и мат. Свердловск. горн. ин-та, 1945, вып. XI.

4. Иванов Н. А. Поиски мезозойских бокситов при помощи магнитных методов. Тр. и мат-лы Свердловск. горн. ин-та, 1945, вып. XI.

5. Иванов Н. А. Применение микромагнитной съемки при поисках и разведке месторождений боксита. Сб. «Геология и геофизика», Изд-во Свердловск. горн. ин-та, 1938.

6. Иванов Н. А. Методика магнитной съемки и интерпретации при поисках и разведке месторождений боксита. Тр. и мат-лы Свердловск. горн. ин-та, 1945, вып. XI.

7. Иванов Н. А., Гринкевич Г. И., Головцын В. Н. Результаты геофизических работ при поисках боксита в Каменском районе. Тр. и мат-лы Свердловск. горн. ин-та, 1945, вып. XI.

8. Квятковский Е. М. Геофизические работы при поисках месторождений мезозойских бокситов в пределах северо-восточной части Салаирского кряжа. Изв. Всесоюз. геол. фонда Комитета по делам геологии, 1946, вып. 1.

9. Логачев А. А. Курс магниторазведки. Госгеолиздат, 1951.

10. Огильви А. А. Геоэлектрические методы изучения карста. Изд-во МГУ, 1956.

11. Успенский Д. Г. Пути развития гравитационного метода поисков и разведки рудных месторождений. «Советская геология», 1958, № 2.

12. Gillin J. A., Shock L. A., Cock E. D. Geophysics, 1942, v. VII, № 4.

13. Mal'amphy M. C., Vallely J. L. Geophysics, 1944, v. IX, № 3.