

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ  
МЕТОДЫ  
ПОИСКОВ  
И РАЗВЕДКИ  
НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ  
ПОЛЕЗНЫХ  
ИСКОПАЕМЫХ

---

# ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

4257

Под редакцией  
П.В.Вишневого,  
Г.С.Вахромеева,  
И.Л.Шаманского



МОСКВА "НЕДРА" 1984



**Геофизические методы поисков и разведки неметаллических полезных ископаемых.** Под ред. П.В. Вишневого, Г.С. Вахромеева, И.Л. Шаманского. — М.: Недра, 1984. 223 с.

Рассмотрены результаты отечественных и зарубежных геофизических исследований при поиске и разведке месторождений горно-химического, горнотехнического, горнорудного сырья и строительных материалов (асбеста, графита, пьезооптических минералов, серы, слюды и др.). Даны рекомендации по применению и комплексированию геофизических методов, методике и последовательности исследований в различных геолого-геофизических условиях.

Для геофизиков, геологов, геохимиков, занимающихся поисками, разведкой и разработкой месторождений неметаллических полезных ископаемых.

Табл. 15, ил. 51, список лит. — 42 назв.

Рецензент — д-р техн. наук *Е.А. Мудрецова* (ВНИИГеофизика)

Неметаллические (нерудные) полезные ископаемые (около 50 минералов и более 150 видов горных пород, связанных с осадочными, магматогенными и метаморфогенными формациями) находят в настоящее время широкое хозяйственное применение. Объемы их потребления непрерывно возрастают, а количество легкооткрываемых месторождений, как и месторождений других полезных ископаемых (рудных и горючих), сокращается, увеличивается глубинность изучаемых объектов. Отмеченные и некоторые другие обстоятельства обуславливают необходимость существенного повышения геологической результативности (информативности) и экономической эффективности (рентабельности) выявления и изучения разнообразных промышленно-генетических типов месторождений неметаллов на основе широкого применения геофизических, геохимических и других методов исследований при рациональном комплексировании их с геологическими.

Геофизические исследования с целью прогнозирования, поисков и разведки месторождений неметаллов и при изучении последних как минерального сырья нередко называют нерудной геофизикой. Специфической особенностью объектов ее изучения являются обычно незначительные размеры и сравнительно небольшие глубины залегания продуктивных толщ, относительно слабые отличия последних от вмещающих пород по физическим свойствам и петрофизическим характеристикам, а также весьма разнообразные требования различных отраслей хозяйства к качественным характеристикам отдельных видов нерудного сырья. При обоснованном проведении и рациональном комплексировании с геологическими и геохимическими методами нерудная геофизика обеспечивает решение широкого круга геологических задач [3, 29, 34]. К наиболее значимым из них относятся изучение и уточнение особенностей геологического строения районов (площадей) развития неметаллов, установление прогнозно-поисковых признаков (критериев), выделение перспективных для поисков месторождений площадей, выявление и разведка продуктивных толщ с количественным определением содержания в них отдельных ингредиентов и подсчетом запасов в недрах.

Из практики отечественных и зарубежных работ известны примеры успешного решения отмеченных и ряда других геологических задач, свидетельствующие о реальности достижения нерудной геофизикой высокой геологической результативности. Так, по материалам совместных геологических, геохимических и геофизических исследований в СССР выявлены месторождения флюорита (Улунтуйское), талька (Правдинское, Веселянское), антофиллит-асбеста (Терсутское, Каменушинское), барита (Пальническое, Сувенир), вулканогенной серы (Юбилейная залежь на Малетойважском), фосфоритов (Тастыкольское, Симское), калийных солей (Тростянецкое), рассолов (Долинское, Болеховское, Бориславское), разнообразных строительных материалов. Результаты, полученные с помощью геофизических методов, способствовали также открытию зале-

жей боратов (Казахстан), магнезита и апатит-магнетит-редкометалльного оруденения (Восточная Сибирь), многих проявлений неметаллов в различных регионах СССР. Геологически результативны геофизические исследования при поисках и разведке месторождения графита, слюд, полевошпатового, камнесамоцветного и пьезооптического сырья, шунгитсодержащих пород, целестина, алмазонасных кимберлитов, корунда и др.

Своевременное, обоснованное проведение геофизических работ на неметаллы, рациональное комплексирование их с геологическими и геохимическими методами, полноценное использование материалов региональных геологических съемок, а также результатов ранее выполненных геофизических исследований различной целенаправленности на площадях развития неметаллов позволяют снизить стоимость, сократить объемы и сроки общего цикла прогнозных и поисково-разведочных работ, свидетельствуя и об экономической эффективности нерудной геофизики. Так, внедрение ядерно-геофизических методов при разведке апатитовых (Хибины) и фосфоритовых (Казахстан) месторождений позволило сократить объемы kernового опробования и получить за счет этого годовую экономию не менее чем 300—500 тыс. руб. Обоснованная стадийность и комплексность геолого-геофизических работ на строительные материалы снижают стоимость общего цикла поисково-разведочных работ в центральных районах европейской части СССР примерно на 30 %.

Геологическая информативность и экономическая рентабельность нерудной геофизики в целом известны, однако возможность ее в ряде случаев используются недостаточно. Например, выполнение производственных, тематических и опытно-методических геофизических работ нередко осуществляется в ограниченных масштабах неспециализированными экспедициями и партиями. Ограниченность проводимых геофизических исследований связана с общим отставанием нерудной геофизики от нефтяной и рудной и обусловлена рядом причин, немаловажной из которых является отсутствие необходимых методических разработок (руководства, инструкции, рекомендации). В связи с этим специалистами производственных, научно-исследовательских организаций различной ведомственной подчиненности, вузов, занимающихся нерудной геофизикой, подготовлена данная работа.

Названные работы авторы видят в систематизации для геологов и геофизиков, занимающихся поиском и разведкой месторождений неметаллов (горно-химического, горнотехнического, горнорудного сырья и стройматериалов), возможностей современной нерудной геофизики и обеспечении их рекомендациями по применению и комплексированию геофизических методов при прогнозе, поисках и разведке различных промышленно-генетических типов месторождений важнейших видов неметаллов.

Оценка результативности и эффективности геофизических исследований выполнялась на основе анализа и обобщения геолого-геофизических данных многочисленных исследователей, в том числе А.И. Отрешко (ИМР), Н.Н. Боровко (ВСЕГЕИ), А.Г. Колчиной (ВИРГ), А.М. Блюменцева (ВНИИЯГГ), Н.М. Нейштадта (ВИТР), Е.А. Рыбалкина (ВНИИСИМС),

А.Е. Лисицына (ВИМС), П.П. Засыпко (ВНОГЕМ), Н.Н. Шарапова (ВСЕГИНГЕО), В.М. Куршса (ВНИИморгео), Ю.В. Баталина (ВНИИгеолне- руд), В.В. Буркова (ИМГРЭ), В.И. Покрышкина (НИИЗарубежгеология), И.Ф. Романовича (МГРИ), Г.И. Новицкого (ЛГИ), К.И. Якубсона (МИНХиГП), В.В. Бронштейна (ПГО Центргеология), Д.С. Вагшала (ПГО Уралгеология), З.П. Звуиковского (ПГО Южказгеология), Н.И. Про- нягина (ПГО Севзапгеология), В.А. Дягилева (ПГО Иркутскгеология), Е.А. Савинца (Мингео УзбССР), М.Н. Байсаровича (Мингео УССР) и др.

## ПРИНЦИПЫ ВЫБОРА И ОБОСНОВАНИЯ КОМПЛЕКСОВ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИ ПРОГНОЗЕ, ПОИСКЕ И РАЗВЕДКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НЕМЕТАЛЛОВ

Принципы комплексирования геофизических исследований в настоящее время развиваются на основе системного анализа и учета объективных возможностей отдельных методов в разведочной геофизике (Н.Н. Боровко, Г.С. Вахромеев, А.Г. Тархов). Эти принципы применимы к прогнозу, поиску и разведке месторождений различных полезных ископаемых, включая и нерудное минеральное сырье. К наиболее общим принципам комплексного проведения геологоразведочных работ относятся совместное выполнение и интерпретация обычно паритетных геологических, геофизических и геохимических исследований; планомерное изучение территорий с поэтапным увеличением детальности изучаемых площадей; выполнение съемок в рамках трапеций международной разграфки топоскарт; включение в рекомендуемые комплексы методов, изучающих различные физические поля; выделение в рациональных комплексах основных и вспомогательных (детализационных) методов с преимущественным использованием первых из них для прямой индикации полезного ископаемого; определение методов, целесообразных для опытно-методического опробования, и т. п.

Выбор и обоснование комплексов методов геофизических исследований для конкретных стадий и подстадий геологоразведочных работ относятся к классу задач по принятию решений в условиях неопределенности. Включение конкретных методов (модификаций) в такие комплексы базируется на двух подходах, взаимно дополняющих друг друга: 1) качественно-эволюционном отборе наиболее эффективных и достаточно экономичных геофизических методов (модификаций) исходя из многолетнего опыта и интуиции исполнителей и 2) количественном системном подходе, позволяющем решать вопрос о конкурентоспособности отдельных методов (модификаций). Для расчетов сравнительной эффективности конкурирующих методов необходимо использовать математическую статистику, теории информации и стратегических игр. Отмеченные принципы выбора, обоснования и оценки рекомендуемых комплексов геофизических методов начали развиваться сравнительно недавно и еще не получили всеобщего признания.

В ряде случаев из-за недостатка сведений о физико-геологических особенностях изучаемого района и искомым геологическим объектам вначале намечают несколько примерно адекватных по эффективности комплексов геофизических методов исследований, которые принято называть типовыми. Каждый типовой комплекс применим для решения конкретной задачи, и на их основе формируют рациональные геофизические комплексы, под которыми принято понимать определенную последовательность и разумное сочетание методов, обеспечивающих решение геологических задач при некоторых оптимально необходимых затратах времени и денежных средств. Процесс оптимизации комплексов геофизических методов является непрерывным, долговременным и зависит от ряда факторов,

полнота сведений о которых обычно увеличивается вследствие возрастающей детальности геологического и петрофизического изучения региона, накапливаемого опыта геофизических работ, научно-технического и методического роста возможностей измерения физических параметров, геофизических полей и т. п.

Для выбора и обоснования рациональных комплексов геофизических методов вначале формируют физико-геологическую модель (ФГМ) объекта геофизических исследований. Результаты комплексной интерпретации получаемых при этом геофизических материалов используются для уточнения и расширения представлений о ФГМ и дальнейшего совершенствования и оптимизации комплекса геофизических методов.

Таким образом, модели исследований являются определяющими при выборе и обосновании комплексов геофизических методов, а в общем случае — комплексов геологических, геохимических и геофизических методов.

Модель геологического объекта, изучаемого с помощью разведочной геофизики, содержит совокупность основных обобщенных (схематизированных) сведений о геологическом строении разреза, петрофизических свойствах слагающих его элементов, морфологии и размерах залежи. Различают натурные и физико-геологические модели.

Натурные модели — это естественные природные комплексы, геологически и геофизически изученные с детальностью, обеспечивающей их использование в качестве эталонов менее исследованных объектов аналогичного геологического строения. При натурном моделировании проводят опытно-методические и тематические исследования заведомо избыточным комплексом геофизических методов на опорных геологических разрезах, детально изученных горно-буровыми работами. Данные натурного моделирования используются, в частности, при выборе комплекса геофизических методов, в том числе и в данной работе.

Преимущество натурных моделей заключается в том, что геологическая и геофизическая информация воспроизводится ими в неискаженном виде при коэффициенте информативности физико-геометрического подобия оригиналам, близких к единице. Однако применение таких моделей ограничено, так как они практически неизменяемы (плохо управляемы), не всегда адекватны исследуемому объему даже по некоторым основным из изучаемых признаков. Кроме того, эти модели обычно носят частный характер, и для обоснованных методических заключений необходимо проводить эксперименты на серии натурных моделей.

Отмеченных недостатков лишены физико-геологические модели, понятие о которых для геофизических исследований введено в конце 60-х годов Г.С. Вахромеевым. Понятие о ФГМ иногда использовалось и ранее для изучения частного возмущающего объекта. Однако физико-геологическая модель является моделью общего типа изучаемого геологического объекта. Она представляет собой совокупность нескольких (двух- или трехмерных) частных моделей, определенное сочетание которых на плоскости или в пространстве дает обобщенную схему геологического объекта, изучаемого геофизическими методами.

Физико-геологическая модель — это система сочетающихся в геологи-

ческом пространстве абстрактных возмущающих тел, обобщенные размеры, форма, петрофизические свойства и взаимоотношения которых аппроксимируют реальные геологические или минеральные образования, подлежащие обнаружению и изучению. ФГМ обобщает представления о группе сходных геологических объектов данного класса и для нее характерны следующие основные особенности: а) обобщенная форма; б) приближенные к реальным статистически рассчитанные значения петрофизических свойств и размеров элементов модели; в) полиморфность, проявляющаяся в многообразии и несходстве форм, размеров и петрофизических параметров отдельных частных моделей, слагающих ФГМ; г) вероятностно-статистический характер, обусловленный стохастичностью используемых при построении моделей определенных значений геологических и петрофизических параметров; д) управляемость, проявляющаяся в возможности использования различных комбинаций отдельных частных моделей, отображающих изменения морфологии, размеров, уровня эрозионного среза и других характеристик реальных геологических объектов; е) возможность расчетов ожидаемых геофизических полей (прямая задача геофизики) от сложных ФГМ, представляющих собой сочетание любого числа частных моделей.

При построении ФГМ должны соблюдаться определенные требования, в первую очередь следующие: а) соответствие геологического содержания модели типизируемым или конкретным геологическим условиям; б) физические свойства, петрофизические параметры и геохимические характеристики продуктивных и вмещающих образований являются обобщенной характеристикой реально известных данных и некоторых теоретических и интуитивных предположений, базирующихся на тех или иных физико-геологических предпосылках; в) при известной абстрактности и схематичности модели необходимость в последней, хотя бы фрагментного отражения обстоятельств, осложняющих и затрудняющих решение геофизическими методами конкретных геологических задач (вертикальная и латеральная неоднородности разреза, наличие зон выклинивания, фациальных замещений, тектонических нарушений, повышенной водоносности, минерализованности и т.д.).

В процессе формирования ФГМ любой степени детальности следует задаваться известным уровнем генерализации с тем, чтобы не переносить в модели те геологические, геохимические и геофизические подробности (детали), которые заведомо не окажут существенного влияния на выбор, обоснование и оценку рациональности рекомендуемых комплексов геофизических исследований и на методiku проведения геофизических работ.

Основной характерной чертой ФГМ является полиморфность, проявляющаяся в многообразии и несходстве между собой геометрических форм и петрофизических характеристик слагающих ее возмущающих тел. Например, такой, казалось бы, несложный геологический объект, как флюоритовая жила, приуроченная к зоне разрывного тектонического нарушения, с точки зрения геофизических исследований, может быть описан совокупностью многих частных моделей.

Во-первых, это субвертикальный, не ограниченный по простиранию

и на глубину пласт относительно повышенной электропроводности, а нередко и магнитной восприимчивости, соответствующий тектонически ослабленной и минерализованной различными соединениями зоне дробления; во-вторых, это ограниченный по падению крутопадающий пласт аномальной избыточной плотности, являющийся одновременно, особенно при преимущественном кварц-флюоритовом составе, источником пьезоэлектрической поляризации. В-третьих, это характеризующийся высокой кажущейся поляризуемостью горизонтальный эллиптический цилиндр, в поперечном сечении которого большая полуось вертикальна, что позволяет аппроксимировать таким телом ореол гидротермально измененных сульфидизированных вмещающих пород; в-четвертых, это система зональных первичных ореолов рассеяния F, Mo, Ag, V, Hg и некоторых других элементов-индикаторов, причем размеры таких ореолов значительно превышают размеры флюоритовой жилы. В-пятых, это субгоризонтальные пластины вторичных ореолов рассеяния F и некоторых элементов-спутников и т.д. Именно на основании такого представления о ФГМ флюоритовых зон дробления при их поиске и разведке рекомендовано использовать электропрофилирование, магниторазведку, высокоточную гравитразведку, нейтронно-активационную и литогеохимическую съемки по вторичным ореолам рассеяния.

Из приведенного примера очевидно, насколько важно для формирования ФГМ и последующего выбора геофизических методов знать петрофизические свойства и геохимические характеристики объектов геофизических исследований, описанию и анализу которых в данной работе уделено необходимое внимание.

Формирование ФГМ проходит в несколько стадий: вначале создается концептуальная (мысленная) модель изучаемого геологического объекта, которая затем приобретает количественно-описательный и знаковый характер, наделяется обобщенной формой, статистически рассчитанными петрофизическими параметрами и наиболее вероятными размерами.

Основными этапами формирования ФГМ являются следующие: 1) выбор эталонных объектов моделируемых геологических тел; 2) определение геологических, петрофизических и геометрических параметров модели на эталонах; 3) расчет и оценка статистических характеристик количественных параметров ФГМ; 4) выбор и расчет критериев подобия; 5) вычисление параметров модели с помощью аппарата теории подобия; 6) решение прямых задач геофизики для ФГМ объекта, минимального по промышленным запасам интересующего нас минерального сырья, и сравнение получаемых данных с результатами натурного моделирования для оценки корректности выполненного моделирования.

Методика формирования и расчета ФГМ определенных типов месторождений полезных ископаемых подробно разбирается в опубликованной в 1980 г. под редакцией Г.С. Вахромеева книге "Геофизические поиски железорудных месторождений на юге Восточной Сибири", а также в ряде других работ некоторых исследователей. Вполне очевидно, что предметом физико-геологического моделирования в принципе могут быть различные геологические объекты с учетом сложных иерархических зависимостей

целей и задач соподчиненных между собой стадий и подстадий геологоразведочных работ. Известной иллюстрацией этого положения служит опубликованная в 1980 г. работа В.В. Бродового, посвященная разработке нормального ряда ФГМ для условий Восточно-Казахстанской рудной провинции. Для последней сформированы и последовательно описаны модели блоков земной коры, рудных поясов, районов, полей, месторождений и отдельных рудных тел. С опорой на эти ФГМ сформулированы геологические задачи и предложены рациональные комплексы геофизических исследований для различных стадий и подстадий геологоразведочных работ, начиная от региональных съемок и кончая предварительной разведкой месторождений.

На разных этапах геологоразведочных работ одновременно с уточнением представлений об изучаемых геологических объектах изменяются и представления об их ФГМ. Например, при прогнозировании и общем поиске месторождений апатита, генетически связанных с массивами ультраосновных щелочных пород и карбонатитов, последние целесообразно представлять соосными вертикальными цилиндрами с повышенными значениями магнитных и радиоактивных свойств. Именно по этой причине для поисков редкометалльных карбонатитов эффективно используют комплексные крупномасштабные аэромагнитную и азогамма-спектрометрическую съемки. При детальных поисках первоочередной интерес представляют пласто- и столбообразные рудные зоны, обогащенные апатитом и редкоземельными элементами, характеризующиеся аномальной радиоактивностью и зональными ореолами рассеяния Р, Мп, Nb и других элементов. На этом основании при детальных поисках в качестве основных методов привлекают шпуровую гамма-съемку и литогеохимическую по вторичным ореолам рассеяния (см. табл. 2).

В настоящей работе концепция о ФГМ месторождений важнейших групп (видов) нерудных полезных ископаемых по ряду причин принята и разрабатывается в общих чертах. Нетрудно заметить, что главное в этой концепции — использование в качестве основы петрофизических свойств пород промышленно-ценных залежей неметаллов. По статистически обобщенным значениям петрофизических параметров частных возмущающихся объектов выбираются рациональные комплексы геофизических методов и решаются необходимые вопросы, связанные с расчетом опорных аномальных сигналов и ожидаемых геофизических аномалий в широком диапазоне конкретных физико-геологических условий, обоснование формы и размеров сети геофизических съемок, планирование их оптимальной точности, выбор модели для комплексной интерпретации геофизических и геохимических данных и т. п.

Для всех рассматриваемых в настоящей работе неметаллических полезных ископаемых в соответствующих разделах приведены статистически обработанные сведения о петрофизических характеристиках основных типов залежей и вмещающих пород, а также описаны геологическая обстановка и физико-геологические предпосылки прогноза, поиска и разведки месторождений данного вида сырья. Предлагаемые комплексы геофизических методов для разных стадий и подстадий геологоразведочных

работ являются прямым следствием анализа характерных физико-геологических обстановок и учета имеющегося опыта нерудно-геофизических исследований в различных регионах СССР и за рубежом.

Приемы количественного обоснования методики геофизических работ и расчеты сравнительной конкурентоспособности отдельных поисковых методов (модификаций) проиллюстрированы соответствующими примерами в некоторых разделах, как это, например, сделано при выборе наиболее эффективного вида электропрофилирования для трассирования разрывных тектонических нарушений при поиске месторождений флюорита (см. табл. 15). Поскольку данная работа представляет собой первую серьезную попытку обобщения геологических возможностей геофизических методов при прогнозе, поиске и разведке месторождений нерудного минерального сырья, такой подход авторы считают в известной степени правильным и оправданным.

Располагая более конкретными и детальными сведениями о геологическом строении, петрофизических параметрах и другими данными о прогнозируемых, опосредуемых и разведываемых объектах неметаллических полезных ископаемых, а также вмещающих пород, можно, воспользовавшись данной работой и некоторыми другими опубликованными методическими разработками, продолжить формирование ФГМ с нужной степенью приближения к реальным геологическим образованиям для оптимизации предлагаемых нами типовых комплексов геофизических методов в тесной связи с физико-геологическими условиями изучаемого района.

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ РЕГИОНАЛЬНЫХ ГЕОЛОГОСЪЕМОЧНЫХ И ГЕОФИЗИЧЕСКИХ РАБОТ**

При поиске месторождений неметаллических полезных ископаемых постановке и проведению геолого-геофизических работ должно предшествовать использование имеющихся материалов геологосъемочных и геофизических работ (масштабов 1:200 000—1:100 000, а при необходимости и 1:50 000—1:25 000), а также результатов более крупномасштабных геофизических исследований различного целевого назначения. Некоторые методические вопросы использования таких геофизических материалов известны по работам Б.А. Андреева, Г.С. Вахромеева, Г.П. Новицкого, В.В. Бродового, А.Г. Тархова и др.

Для неметаллов в целом и отдельных их групп (видов) вопросы использования для рассматриваемых целей результатов имеющихся геофизических исследований освещены недостаточно, в связи с чем актуальна разработка соответствующих рекомендаций. В связи с этим нами использованы результаты собственных разработок, материалы отечественными и зарубежными исследователями, а также данные, представленные отдельными авторами, подготовившими рекомендации по применению и комплексированию геофизических методов при поиске и разведке месторождений неметаллических полезных ископаемых.

Материалы региональных геологосъемочных и геофизических исследований, а также совместное истолкование геолого-геофизических данных

позволяют решать ряд геологических задач, наиболее основными из которых являются следующие (табл. 1): 1) выяснение и уточнение особенностей геологического строения прогнозно-перспективных территорий; 2) выделение площадей, перспективных на поиски продуктивных образований и залежей, путем локализации определенных для данного вида сырья прогнозно-поисковых критериев.

Обоснованное решение этих и некоторых дополнительных геологических задач предопределяет необходимость тщательного анализа и обоснованной переинтерпретации имеющихся геофизических материалов и особенно их совместного истолкования с геохимическими и геологическими данными (включая результаты дешифрирования аэро- и космофотосъемок), а также использования различных прямых и косвенных геолого-геофизических поисковых критериев и признаков. В ряде случаев следует также изучать физические свойства и петрофизические характеристики продуктивных и вмещающих образований.

Для большинства неметаллов решение первой из указанных задач достаточно актуально и имеет общие особенности, связанные со структурно-тектоническим районированием, выявлением тектонических нарушений, зон развития отдельных литолого-фациальных комплексов и др. Необходимо заметить, что решение таких вопросов во многом специфично для отдельных групп (видов) неметаллов. Здесь нами даны общие для большинства неметаллов и характерные для конкретных их групп (видов) методические рекомендации по использованию материалов региональных геологосъемочных и геофизических работ и геофизических исследований различного целевого назначения (см. табл. 1). В отдельных случаях, особенно при отсутствии необходимых данных, возможно проведение определенных объемов геофизических исследований методами (комплексами методов), материалы которых рекомендованы нами для использования.

При поисковых геофизических работах и среднемасштабном прогнозировании на апатит независимо от генетической принадлежности опосредуемых месторождений для решения обеих названных выше задач рекомендуется в основном привлекать материалы магнито-, гравиметрических и литогеохимических съемок по потокам рассеяния (см. табл. 1). При крупномасштабном прогнозировании наряду с материалами отмеченных методов должны использоваться и данные проводившихся ранее сейсмо- и электроразведочных работ, радиометрических и гамма-спектрометрических съемок. Так, выделение и последующая геологическая записка участков с повышенными значениями  $\gamma$ -поля, пространственно совпадающими с гравимагнитными аномалиями, позволили выявить продуктивные залежи Селигдарского месторождения. Определенный опыт использования отмеченных геофизических материалов известен по некоторым апатитоносным провинциям [23].

В конкретных же условиях особенности использования материалов необходимо детализировать и уточнять с учетом общих принципов комплексной интерпретации геофизических данных [4, 23] и специфики локализации в данном регионе конкретных типов апатитоносной минерализа-

Таблица 1. Рекомендации по использованию материалов геологосъемочных, геофизических работ и крупномасштабных геофизических исследований для поисков месторождений неметаллов

Полезные ископаемые (основные типы их месторождений)	Геофизические методы для решения различных задач	
	Основные задачи (изучение геологического строения прогнозно-перспективных тер- риторий и выделение площадей для поисков месторождений)	Дополнительные задачи
1	2	3
<i>Апатит</i> (месторождения, связан- ные с формациями: I — апа- итовых нефелиновых сиенитов; II — ультраосновных щелочных пород и карбонатитов; III — ще- лочных габброидов; IV — бази- товой, другими магматически- ми и метаморфогенными)	I—IV — МР, ГР, (СР, ЭР, ГСС, ЛГС, ГИС)	—
<i>Асбест</i> (месторождения: I — хри- зотил-асбестовые; II — антофил- лит-асбестовые)	I и II — МР, ГР, КМПВ, МОВ, (МТЗ, МТП), кроме того, для II — ЛГС	—
<i>Барит и виверит</i>	ГР, ЭР, МР, (СР)	—
<i>Битум и озокерит</i> (месторожде- ния: I — со структурно-пласто- выми залежами битума, асфаль- товые озера; II — с жильными залежами битума и озокерита)	I и II — ГР, СР, МР, ЭР, ЭК, РК, [ИКС]	—
<i>Бор</i> (месторождения: I — эндо- генные; II — галогенно-осадо- чные и вулканогенно-осадочные)	I и II — МАС, СР, ГР, ЛГС, (ЭР)	Выявление и прослеживание бессточных впа- дин и массивов карбонатных по- род: I и II — МАС, СР, ГР
<i>Волластонит</i>	ГР, МР, (СР, ЭР)	Выявление инт- рузивных и из- вестково-силикат- ных комплексов пород: ГР, МР, ВЗЗ-ВП
<i>Вулканические стекловатые породы</i>	МАС, АГСС, ГР, (СР, ЭР, ЛГС)	—
<i>Гипс и ангидрит</i>	ВЗЗ, СЭП, ДЭП (ГР, МР, СР)	Оценка элемен- тов залегания про- дуктивных комп- лексов: ВЗЗ, СЭП, (ГР, СР)
<i>Глинистые породы</i> (место- рождения: I — остаточные; II — осадочные, и вулканоген- но-осадочные; III — гидротер- мально-метасоматические)	I — МР, ГР, (ВЗЗ, СЭП, СР); II — МР, ГР, ВЗЗ, КЭП, СЭП, (СР); III — МР, ГР, ВЗЗ, КЭП	—

1	2	3
<p><i>Графит</i>  <i>Камни самоцветные</i> (месторождения: I — изумруда; II — родонита; III — талько-хлорита; IV — нефрита; V — переливта (агат-переливта); VI — аметиста)</p>	<p>ЭР, (ЭК, ГР, МР, СР)  I—III — МАС, ГР; IV—VI (ВЭЗ, СЭП, ДЭП)</p>	<p>—  Выявление гипербазитовых и гранитоидных массивов, для чего используются геофизические материалы, указанные в графе 2</p>
<p><i>Камни строительные</i></p>	<p>МАС, МНС, ЭР, СР, (ГР, РС)  (на площадях развития изверженных и метаморфических комплексов пород)</p>	<p>—</p>
<p><i>Карбонатные породы</i> (месторождения неразрушенных карбонатов в: I — платформенных районах, II — горноскладчатых областях; III — месторождения разрушенных карбонатов (продуктов выветривания) в платформенных и горноскладчатых районах)</p>	<p>I—III — ВЭЗ, ДЭЗ, ЭП, МТП, МТЗ, ГР, СР, (ЭК, РК), кроме того, для II — МАС, АГСС</p>	<p>Оценка элементов залегания продуктивных комплексов: I—III — ВЭЗ, ДЭЗ, МТЗ, (ГР, СР)</p>
<p><i>Кремнистые породы</i></p>	<p>МАС, МНС, ГР, СР, (ЭР)</p>	<p>—</p>
<p><i>Магнезит и брусит</i></p>	<p>МАС, ЭАС, АГСС, ГР, (СР)</p>	<p>—</p>
<p><i>Пески и песчано-гравийные материалы</i> (месторождения: I — аллювиальные; II — флювиогляциальные, моренные, золовые (пески), морские и озерные; III — шельфовой зоны; IV — прибрежной части озер и русел рек)</p>	<p>I—III — ЭР, ГР, МР</p>	<p>Выделение площадей развития продуктивных фаций, содержащих залежи ПГМ, с оценкой глубин их залегания: I—III — ЭР, ГР, МР, (СР)</p>
<p><i>Полевошпатовое сырье</i></p>	<p>См. рекомендации к слюдам, пьезооптическим минералам и жильному кварцу</p>	
<p><i>Природная сода</i> (месторождения: I — лимногенные; II — катагенные)</p>	<p>I и II — МАС, ЭАС, ГР, СР</p>	<p>Выявление и картирование межгорных депрессий и платформенных впадин, для чего используются геофизические материалы, указанные в графе 2</p>

1	2	3
<p><i>Пьезооптические минералы и жильный кварц</i> (месторождения пегматитовые: I-1 — кварца, I-2 — флюорита; месторождения гидротермальные: II-1 — кварца, II-2 — исландского шпата; III — россыпные месторождения)</p>	<p>I-1 — II-2 МАС, ГР, ВЭЗ, СЭП, КЭП</p>	<p>Выявление гранитных интрузивов, пегматитовых полей: I-1 и I-2: МАС, АГСС, ГР, СР, ЭАС, ВЭЗ, МТЗ</p> <p>Установление связи и особенностей строения гранитоидных массивов и перекрывающих отложений: II-1 и II-2 — МАС, АГСС, ГР, СР, ВЭЗ</p> <p>Выявление зон развития пьезокварцевых пегматитовых и хрусталеносных гидротермальных жил: I-1 и I-2 — ЛГС</p> <p>Выделение кор выветривания на перспективнохрусталеносных площадях: III — МР, ГР, ВЭЗ, СЭП</p>
<p><i>Сера самородная</i> (месторождения: I — экзогенные; II — вулканогенные)</p>	<p>I — ГР, ЭР, СР; II — ГР, МАС (АГСС)</p>	<p>—</p>
<p><i>Слюды</i></p>	<p>МАС, МНС, НС, ГР, СР</p>	<p>Выделение площадей развития метаморфических образований: МАС, МНС, ГР, РС, СР</p>
<p><i>Соли минеральные</i></p>	<p>ГР, КМПВ, МОВ, МТТ, (МР, ГИС)</p>	<p>—</p>
<p><i>Тальк, тальковый камень и пирофиллит</i> (месторождения: I — апокарбонатные; II — агипербазитовые)</p>	<p>I и II — МАС, МНС, ЭР, ГР, (СР)</p>	<p>—</p>
<p><i>Флюорит</i></p>	<p>МАС, МНС, ЭР, ГСС, ГР, СР</p>	<p>Перспективная оценка фтороносности площадей: ЛГС, ГБС, ГГС</p>

1	2	3
<p>Фосфориты (месторождения фосфоритов: I — зернистых и микрозернистых; II — желваковых и ракушняковых; III — коры выветривания)</p> <p>Шунгитсодержащие породы</p> <p>Целестин</p> <p>Цеоолиты</p>	<p>I—III — МАС, МНС, АГСС, ГСС, ГР, ЛГС, (СР, ЭР)</p> <p>ЭАС, МНС, (МАС, ГР)</p> <p>ГР, МАС, МНС, КМПВ, МОВ</p> <p>МР, ГР, ВЭЗ</p>	<p>—</p> <p>—</p> <p>—</p> <p>Выявление площадей развития вулканогенно-осадочных образований, для чего выполняются анализ и переинтерпретация материалов геофизических методов, указанных в графе 2</p>

Примечания. 1. Обозначения геофизических методов (модификаций) приведены в приложении 1. 2. Вспомогательные и рекомендуемые для опробования методы даны соответственно в круглых и квадратных скобках.

ции. Так, для месторождений, связанных с формацией агпайтовых нефелиновых сиенитов, геофизические данные необходимо использовать для выделения массивов щелочных пород, к которым в большинстве случаев приурочены достаточно интенсивные гравимагнитные аномалии. Для месторождений, связанных с формациями щелочных габброидов, анортозитовых и дунит-пироксенит-габбровых пород, геофизические материалы позволяют выделять сиенито-диоритовые, основные и ультраосновные интрузии, характеризующиеся повышенными значениями поля  $\Delta T$  ( $\Delta Z$ ) и пониженными величинами  $\gamma$ -поля. Массивы ультраосновных щелочных пород и карбонатитов обычно приурочены к изометрическим аномалиям  $\Delta T$  ( $\Delta Z$ ) с амплитудой до первых тысяч миллиампер на метр.

При выяснении и уточнении особенностей геологического строения прогнозно-перспективных на асбест территорий особого внимания заслуживают материалы магнито-, грави- и сейсморазведки (см. табл. 1). При выделении площадей, перспективных на поиски асбестоносных образований, рекомендуется использовать указанные геофизические материалы, а также данные литогеохимической съемки (см. табл. 1). При этом для поиска хризотил-асбестовых месторождений геофизические данные необходимо использовать для выделения массивов ультрабазитов и контролирующих их размещение зон глубинных разломов, картирования различных формационных комплексов пород и др.; при обнаружении антофиллит-асбестовых месторождений — для выделения гнейс-мигматитовых комплексов и в их пределах ультраосновных массивов метаморфизированной гипербазитовой формации.

Гнейс-мигматитовые купола нередко отмечаются положительными аномалиями  $\Delta g$ . В пределах этих куполов поверхность Мохоровичича по данным сейсморазведки обычно не прослеживается, а граница гранитогнейсового слоя выделяется относительно уверенно, но при этом заметно возрастает число точек дифракции. С учетом приуроченности к антофиллит-асбестовым залежам ореолов Ni, Co, Cr и Mo (Zn) в зонах слабоинтенсивных положительных магнитных аномалий обязательна комплексная интерпретация материалов геофизических, геохимических и геологических данных.

Для обоснования поисковых геофизических работ на барит и виверит особого внимания заслуживают результаты gravi- и электроразведочных работ (см. табл. 1), по которым целесообразно выделять перспективные на поиски их залежей участки развития пород повышенных значений плотности  $\sigma$  и удельного сопротивления  $\rho$ . Материалы геофизических исследований, выполненных другими методами (в первую очередь магнито- и сейсморазведкой), в основном используются для решения ряда общегеологических задач. При прогнозных исследованиях карты, схемы и графики  $\Delta g$ ,  $\rho_k$  и другие геофизические данные, а также результаты их обработки следует использовать в виде схем-накладок к выделяемым перспективным площадям.

Геофизиками ПГО Башкиргеология по региональным геофизическим данным установлена приуроченность Кужинского месторождения к краевой части аномалии  $\Delta g$ , которая связывается с выявленными здесь бурением диабазами и щелочными сиенитами. Эти породы характеризуются повышенными значениями магнитной восприимчивости  $k$  и выделяются узкими линейно-ориентированными аномалиями  $\Delta Z$  интенсивностью до 80 мА/м.

При выяснении по геофизическим данным особенностей геологического строения площадей, перспективных на волластонитовое оруденение, следует выделять крупные тектонические нарушения (разломы, срывы, надвиги и др.) и зоны повышенной трещиноватости пород, которые нередко являются каналами поступления необходимых для скарнообразования постмагматических растворов. Отмеченные структурно-тектонические особенности являются региональными критериями поиска месторождений волластонита. Основные методические приемы использования рекомендуемых геофизических материалов известны по работам Ю.С. Шманенко и Н.К. Роз, Н.Б. Волфсон и А.Г. Хваловского и др. В ряде случаев результативными оказываются дополнительные построения карт изрезанности магнитного поля и высших производных поля  $\Delta g$ .

Площади, перспективные на поиски гипса и ангидрита, в подавляющем большинстве случаев выделяются на участках развития высокоомных пород, в связи с чем наибольший интерес представляют результаты электроразведочных работ (см. табл. 1). Материалы геофизических исследований другими методами в основном используются для решения общегеологических задач.

На площадях развития глинистых пород характер геологических задач, решаемых по рекомендуемым геофизическим материалам, конкретизируется в зависимости от направленности исследований на определенные



генетические типы месторождений. Так, для остаточных месторождений, связанных с корами выветривания площадного, линейного и смешанного типов, необходимо выяснять особенности залегания и геологического строения материнских комплексов; для месторождений осадочного и вулканогенно-осадочного типов — устанавливать погребенные эрозионные формы; для месторождений гидротермально-метасоматического типа — обнаруживать зоны тектонических нарушений.

Материалы геолого-геофизических исследований успешно привлекались к выявлению и предварительной оценке залежей каолинсодержащих пород в линейных корях выветривания северных предгорий Ловозерской тундры. Коры выветривания приурочены здесь к зонам крупных разломов, для выделения которых Мурманская ГРЭ ПГО Севзапгеология ТГУ использовала данные аэромагнитной съемки масштаба 1:25 000. В зонах разломов по материалам электроразведки (КЭП) А.П. Афанасьевым в 1974 г. установлены перспективные участки, проверка которых бурением подтвердила наличие залежей первичных и вторичных каолинов.

Для обнаружения графитоносных образований из геофизических материалов особого внимания заслуживают результаты электроразведочных и электрокаротажных работ (см. табл. 1), по которым необходимо выделять площади развития пород пониженных значений  $\rho_k$ . Материалы грави-, магнито- и сейсморазведки в основном должны привлекаться к решению различных вопросов, связанных с уточнением особенностей геологического строения прогнозно-перспективных территорий.

Различные геофизические материалы рекомендуется использовать для выделения на перспективных территориях площадей развития карбонатных комплексов с оптимальными для разработки глубинами их залегания. Так, карбонатные отложения Саратовского Поволжья отличаются от вмещающих пород повышенными значениями параметров  $\rho$ ,  $\sigma$  и скорости  $v$ , из-за чего они выделяются в разрезе как опорные горизонты по результатам соответствующих геофизических исследований. В ряде случаев площади развития карбонатов надежно выделяются по данным электро- и гравиразведки, а материалы сейсморазведки и частично магниторазведки нередко позволяют устанавливать и структуру карбонатных толщ. Решение рассматриваемых задач специфично в зависимости от структурно-тектонической и геоморфологической приуроченности карбонатных залежей.

В платформенных районах площади, перспективные для поиска карбонатных комплексов, выявляются по материалам электро-, грави- и сейсморазведки (см. табл. 1) как участки с повышенными значениями  $\rho_k$ ,  $v$  и  $\Delta g$ . На Северо-Востоке европейской части СССР по результатам электро- и гравиразведки выделены участки залегания известняков по четким аномалиям  $\rho_k$  и  $\Delta g$  (рис. 1). Данные электро- и сейсморазведочных работ необходимо привлекать для определения структурно-тектонических особенностей разреза и оценки мощности и состава осадочных пород. Зондирования становлением поля нередко обеспечивают выявление зон повышенной мощности терригенных отложений над плохо проводящими толщами карбонатных пород, а материалы сейсморазведки позво-

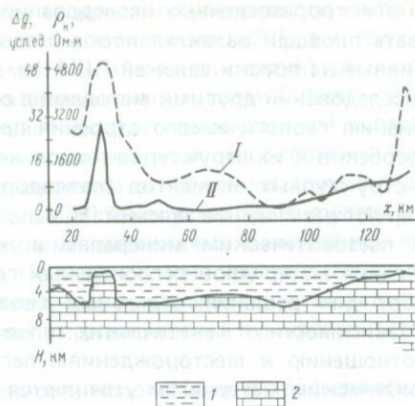


Рис. 1. Результаты геофизических работ на Северо-Востоке европейской части СССР (по В.Л. Гречухину, 1960 г.).

Кривые: I —  $\rho_k$ , по данным ВЭЗ и СЭП, II —  $\Delta g$ ; 1 — терригенные отложения; 2 — известняки

ляют расчленять осадочные комплексы, выделять в них карбонатные отложения и составлять структурные схемы по отдельным горизонтам разреза.

В горноскладчатых областях на площадях развития осадочных пород зоны развития карбонатных образований нередко выделяются повышенными значениями параметров  $\rho_k$ ,  $\sigma$  и  $\nu$  (здесь  $\rho_k$  — кажущееся удельное сопротивление). К выявлению карбонатов среди метаморфических пород целесообразно наряду с данными аэро- и наземных геофизических съемок привлекать и материалы ГИС.

Для выяснения и уточнения особенностей геологического строения территорий, прогнозно-перспективных на кремнистые породы, интерес представляют данные магнито-, грави- и сейсморазведки (см. табл. 1), по которым с учетом дифференцированности физических свойств продуктивных и вмещающих пород в ряде случаев возможно выделение площадей развития первых.

При уточнении особенностей геологического строения прогнозно-перспективных территорий и выделении на них площадей развития карбонатных, в том числе магнезиально-карбонатных образований, особого внимания заслуживают результаты магнито-, электроразведки, радиометрической съемки и гравиразведки (см. табл. 1). По материалам, полученным этими методами, целесообразно выделять площади повышенных значений  $\rho_k$ ,  $\Delta g$ , а также слабоинтенсивных величин  $Z_a$  и  $I_\gamma$ .

Для уточнения геологического строения прогнозно-перспективных территорий, выделения на них площадей развития продуктивных фаций, содержащих пески и песчано-гравийные материалы (ПГМ), и при проектировании дальнейших поисково-разведочных работ заслуживают особого

внимания результаты электроразведочных исследований, по которым необходимо устанавливать площади развития пород с повышенными величинами  $\rho_k$ , перспективные на поиски залежей ПГМ (см. табл. 1). Результаты геофизических исследований другими методами в основном должны привлекаться к уточнению геологического строения прогнозно-перспективных территорий, особенно к их структурно-тектоническому районированию с выделением структурных элементов (палеодолины и др.), которые нередко контролируют размещение залежей ПГМ.

Применительно к пьезооптическим минералам и жильному кварцу особенности использования материалов региональных геологосъемочных и геофизических работ для решения отдельных геологических задач конкретизируются в зависимости от генетических типов предполагаемых месторождений. По отношению к месторождениям пегматитового типа (см. табл. 1) по геофизическим материалам уточняются особенности геологического строения изучаемых площадей, характер их блоковой расчлененности и структуры пегматитовых полей, с которыми нередко связаны продуктивные залежи пьезооптических разновидностей кварца и флюорита. По геофизическим данным трассируют зоны глубинных разломов, определяющих участки локализации материнских интрузий, в апикальных частях которых формируются пегматиты, а также оконтуривают многофазные плутоны лейкократовых гранитов повышенной щелочности. Последние обычно отмечаются пониженными аномалиями  $\Delta g$ , слабоинтенсивными значениями поля  $\Delta T$  ( $\Delta Z$ ) и калиевой составляющей радиоактивности. Достаточно результативным оказалось использование С.Н. Кондрашовым, Л.В. Соколовым, В.П. Дроздовым и Ю.И. Бурьяном геофизических материалов для уточнения геологоструктурных особенностей Володарск-Волынского массива Коростенского гранитного плутона с выделением здесь по результатам комплексной интерпретации геолого-геофизических данных перспективных площадей и отдельных пегматитовых полей. Наряду с геофизическими необходимо привлекать и материалы литогеохимической съемки с выделением по ним ореолов рассеяния F, K, Na, Be, Li, а также элементов-индикаторов флюоритового оруденения.

На площадях предполагаемого развития месторождений гидротермального типа геофизические материалы (см. табл. 1) нередко позволяют устанавливать особенности строения гранитоидных массивов и перекрывающих их образований с учетом факторов (литологического, магматического, структурного и др.), контролирующих распространение хрустале- и шпатоносных образований. На Южном Урале площади с остаточными значениями  $\Delta g$ , отвечающими участкам развития амфиболитовых тел среди кварцевых сланцев, перспективны для поисков хрусталеносных кварцевых жил. Вероятность выявления последних возрастает в случае наличия на таких площадях зон пониженных значений  $\Delta Z$  и  $\rho_k$ , фиксирующих повышенную раздробленность пород в узлах пересечения различных ориентированных тектонических нарушений.

Площади развития шпатоносных образований, приуроченных к трапповым полям, нередко выделяются зонами совпадения положительных аномалий  $\Delta g$  и  $\Delta Z$ . Геофизическими методами выявлены и оконтурены

мульды Тунгусской впадины и купологорсты на Катангском своде, контролирующие кальцитонные поля [23], а в 1978 г. А.Я. Зюзиным и А.Н. Лукашевым уточнены признаки структурной приуроченности шпатовых залежей в эффузивных траппах Сибирской платформы. Перспективные на выявление продуктивных залежей исландского шпата и оптического флюорита зоны развития высокоомных карбонатных образований, а также тектонически ослабленные зоны с гидротермальной проработкой пород в большинстве случаев трассируются совпадающими в плане и линейно вытянутыми аномалиями повышенной электропроводности и магнитного поля. На перспективно-хрусталоносных площадях по геофизическим данным возможно выявление и кор выветривания коренных кварцевых тел в связи с потенциальной приуроченностью к ним россыпных месторождений.

Другие особенности использования геофизических данных для решения отмеченных задач необходимо рассматривать с учетом специфики геологического строения конкретных регионов [23], предусматривая, как показали в 1974 г. С.Н. Кондрашов, Л.В. Соколов, В.П. Дроздов и Ю.И. Бурьян, комплексную интерпретацию геолого-геофизических данных с построением различных карт, схем и выделением на последних перспективных участков.

При уточнении особенностей геологического строения территорий, прогнозно-перспективных на залежи самородной серы экзогенного типа, особого внимания заслуживают материалы электро-, грави- и сейсморазведки (см. табл. 1). Использование этих материалов и комплексная интерпретация геолого-геофизических данных обеспечивают выявление тектонических нарушений, прослеживание маркирующих горизонтов, картирование структур различных порядков и др., что способствует более надежному выделению площадей, перспективных на поиски продуктивных образований. При выделении площадей, перспективных на поиски залежей вулканогенной серы, по геофизическим данным (см. табл. 1) уточняют особенности блокового строения изучаемых территорий и выделяют дорудные и пострудные разрывные нарушения. Кроме того, геофизические материалы привлекают к выявлению массивов измененных пород среди неизмененных вулканогенных, вулканогенно-осадочных и интрузивных образований. Такие задачи успешно решены по результатам целенаправленных мелко- и среднемасштабных геофизических исследований на ряде площадей Северо-Камчатского сероносного района.

Геофизические материалы, в первую очередь данные средне- и крупномасштабных аэро- и наземных магнито- и радиометрических съемок, грави- и сейсморазведки, обеспечивают уточнение особенностей геологического строения изучаемых территорий, их структурно-тектоническое районирование и выделение площадей развития слюдоносных образований (см. табл. 1). Так, в региональном плане Мамско-Чуйской провинции отвечает крупный относительный максимум  $\Delta g$  над опущенным на глубину блоком, в пределах которого слюдоносная толща также имеет блоковое строение. Месторождения слюд Карело-Кольского региона, как правило, приурочены к перифериям минимумов  $\Delta g$  и к отрицательным по знаку

полям  $\Delta T_{\text{в}}$  интенсивностью порядка 80 мА/м. Не исключено, что эти аномалии обусловлены развитыми здесь гранитоидными массивами, с которыми предположительно связаны слюдяные пегматиты [8]. В этом же регионе по материалам магнито- и гравirazведки выделяются массивы будинированных габбро-норитов, к которым нередко приурочены залежи керамических пегматитов.

Зоны пониженных значений геомагнитного поля и пониженных величин  $I_{\gamma}$  обычно связываются с участками вероятного развития флогопитоносных образований. Последние на Ковдорском массиве отмечаются зонами несколько пониженных значений геомагнитного поля, а зоны более интенсивных отрицательных аномалий поля  $\Delta T$  ( $\Delta Z$ ) нередко связаны с участками развития диопсидовых пород.

Материалы региональных геофизических исследований необходимо привлекать к уточнению особенностей геологического строения и структурно-тектонического районирования областей развития соленосных отложений для выделения в их пределах блоков фундамента, активно проявивших себя в период галогенной седиментации, когда формировались калиеносные горизонты (см. табл. 1). Такие и некоторые другие геологические задачи путем совместной обработки геолого-геофизических данных успешно решены в Прикаспийской, Днепровско-Донецкой, Припятской впадинах, в Предуральском и Предкарпатском прогибах. Особого внимания при этом заслуживают результаты комплексной интерпретации данных грави- и электрразведки, обеспечивающих достоверное выделение в пределах развития соленосных отложений наиболее погруженных блоков, предположительно связанных с участками развития калиеносных образований. Выделение таких блоков по данным гравиметровой съемки и исследований МТТ в Оренбургско-Актюбинском Приуралье и Прикаспии подтверждено последующими геолого-геофизическими работами.

Методические особенности использования материалов региональных геологосъемочных и геофизических работ в конкретных условиях детализируются и уточняются с учетом специфики локализации ожидаемых генетических типов продуктивных залежей талька, талькового камня и пиррофиллита (см. табл. 1). Так, при выяснении особенностей геологического строения прогнозно-перспективных территорий и выделении на них площадей для поисков залежей талькитов апокарбонатного типа особого внимания заслуживают материалы электро- и гравirazведки, а для поиска залежей талькитов апогипербазитового типа — результаты магнито- и гравirazведки.

Флюоритоносные пояса и зоны, контролируемые крупными глубинными разломами, выделяются в мелко- и среднemasштабных геофизических полях повышенными градиентами  $\Delta g$ , линейно вытянутыми аномалиями пониженных, а в ряде случаев, наоборот, повышенных значений  $\Delta T$  ( $\Delta Z$ ), зонами повышенной электропроводности и заметного затухания упругих колебаний. В пределах поясов и зон флюоритовые оруденения преимущественно тяготеют к узлам сочленения основных и оперяющих разломов, что также может быть установлено по геофизическим полям; в гравита-

ционном поле перспективные на флюорит площади характеризуются резкими изгибами участков повышенных градиентов  $\Delta g$ . По результатам региональных исследований крупные интрузивные тела в геомагнитном, гравитационном, а иногда и в геоэлектрическом полях выявляются изометрическими и близкими к ним по очертаниям аномалиями различных знаков. С привлечением аэрогамма-спектрометрии возможно разделение интрузий на щелочные и кислые, т.е. выделение массивов с потенциально флюоритоносными щелочными гранитоидами. Материалы магнито-, грави-, сейсмо- и электроразведки (ВЭЗ, ДЭЗ, СЭП, ЗСП, ЧЗ, МТЗ), а также ГИС (ЭК, РК) обеспечивают уточнение особенностей геологического строения прогнозно-перспективных площадей и оценку глубин залегания и мощности отдельных комплексов пород. Выделение площадей, целесообразных для последующих поисковых работ, должно выполняться с учетом также материалов лито-, гидро- и биогеохимических исследований (см. табл. 1).

Для фосфоритов ряд методических особенностей решения различных геологических задач по материалам региональных геофизических исследований известен [41], в связи с чем можно выделять основные и вспомогательные методы соответствующих геофизических исследований (см. табл. 1). Рекомендуемая комплексность этих исследований, а также литогеохимической съемки в небольшой степени определяется особенностями геологического строения изучаемых территорий, предполагаемым типом фосфоритового оруденения, а соответственно и особенностью дифференциации по физическим свойствам продуктивных и вмещающих пород.

Методическая особенность использования материалов региональных геофизических исследований на шунгитсодержащие породы заключается в том (см. табл. 1), что данные магнито- и гравиметрических съемок в основном используются для уточнения особенностей геологического строения изучаемых территорий, а материалы электроразведки — для выделения площадей, перспективных на выявление залежей продуктивных пород.

К целестиноносным поясам относятся мегашовные структуры сложного внутреннего строения. Одна из них, Мангышлакская система дислокаций, по данным региональных гравиметрических съемок масштаба 1:500 000—1:200 000 четко выделяется повышенными градиентами  $\Delta g$ , по продолжению которых в районе Султан-Угудака намечается закономерная связь названной системы дислокаций с шовными прогибами юга Средней Азии. Швы, ограничивающие и пересекающие системы дислокаций, крупные блоки и мелкие наложенные впадины, приуроченные к швам и узлам их пересечения, а также парагенная связь зон развития стронциевого оруденения с долгоживущими разломами являются прогнозно-поисковыми критериями целестиноносных поясов. Выявление наличия таких критериев рекомендуется осуществлять по материалам комплексных исследований, включая грави-, магнито-, сейсморазведку и бурение.

Из региональных геологосъемочных и геофизических работ для реше-

ния задач по изучению цеолитоносных образований (см. табл. 1) наибольший интерес представляют использованные в 1971 г. Ю.И. Никольским, Т.Н. Сироткиной и Т.А. Милай материалы мелко- и среднемасштабных магнито- и гравиметрических съемок, а также электроразведочных работ. В районе распространения ряда цеолитовых месторождений Закавказья преобладает интенсивное, преимущественно положительное магнитное поле  $\Delta T (Z_a)$ . При этом общий, несколько повышенный нормальный фон (320—400 мА/м) соответствует площадям развития мощных вулканогенно-осадочных отложений, в различной степени цеолитизированных, в пределах которых локальными аномалиями более высокой интенсивности (1600—2870 мА/м) выделяются интрузивные образования. В цеолитоносных районах среднемасштабные гравиметровые съемки целесообразно использовать для картирования зон развития цеолитизированных отложений. Продуктивные толщи, образовавшиеся в морских и озерных палеобассейнах, в региональном плане контролируются отрицательными тектоническими структурами, а в гравитационном поле они выделяются плавными понижениями значений поля  $\Delta g$  с заметными разряжениями здесь изоаномал.

Методические рекомендации по особенностям использования материалов региональных геологосъемочных и геофизических работ, а также результатов более крупномасштабных геофизических исследований различного целевого назначения рассмотрены нами для основных групп (видов) неметаллических полезных ископаемых. Использование этих материалов путем тщательного анализа и переинтерпретации имеющихся геолого-геофизических данных должно в обязательном порядке предшествовать постановке и проведению геолого-геофизических работ с целью поиска месторождений неметаллов. Рекомендации по применению и комплексированию геофизических методов при поиске и разведке месторождений неметаллов рассмотрены в последующих разделах работы.

## **РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРИМЕНЕНИЮ И КОМПЛЕКСИРОВАНИЮ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПРИ ПОИСКЕ И РАЗВЕДКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ**

Рекомендации по применению и комплексированию геофизических методов при поиске и разведке месторождений неметаллов исходят из соответствующих физико-геологических предпосылок и предусматривают использование результатов имеющихся теоретических и методических разработок и опыта нерудно-геофизических исследований в СССР и за рубежом. Каждый метод (модификация), включенный в рекомендуемые комплексы, позволяет получать необходимую геологическую информацию, извлечение которой из материалов других геофизических исследований в ряде случаев представляется невозможным или нерациональным. Так, например, исходя из дифференцированности физических свойств (параметров) безрудных и рудных кварцитов, являющихся вмещающими для залежей самородной серы вулканогенных месторождений, предлага-

Таблица 2. Рекомендации по применению и комплексному использованию геофизических методов при поиске и разведке месторождений основных неметаллических полезных ископаемых

Полезные ископаемые (основные типы их месторождений)	Поиск месторождений (общий, детальный и поисково-оценочные работы)		Предварительная и детальная разведка	
	Основные задачи	Геофизические комплексы	Основные задачи	Геофизические комплексы
1	2	3	4	5
<p><i>Апатит</i> (месторождения, связанные с формациями: I — апаитовых нефелиновых сиенитов; II — ультраосновных щелочных пород и карбонатитов; III — щелочных габброидов; IV — базитовой, другими магматическими и метаморфогенными)</p>	<p>Выяснение особенностей геологического строения поисковых площадей (выявление и прослеживание тектонических нарушений, картирование массивов, перспективных на обнаружение продуктивных залежей и др.)</p> <p>Выявление и оконтуривание апатитоносных тел и оценка элементов их залегания</p>	<p>I — ГР, ОГТ, КМПВ, ВЭЗ, СЭП, КЭП; II — МВТ, ГСС, ЭС, ВЭЗ, СЭП, (НАС), [МОВ, СРМ, ГР]; III — ГР, МР, ОГТ, КМПВ, СРМ, ЛГС, НАС, КС, ПС, ГК, НАК, (ВЭЗ, СЭП, ГП); IV — ГР, МР, ВЭЗ, СЭП, КЭП, (СР)</p> <p>I — МР, ГР, РС; II — ГСС, МВТ, ЛГС, (НАС, ВЭЗ, СЭП, ЭС), [МОВ, СРМ, ГР]; III — ГР, НАС, СРМ, ЛГС, КС, ПС, ГК, НАК, (ВЭЗ, СЭП, ГП); IV — ЛГС, (НАС, РС)</p>	<p>Уточнение особенностей геологического строения месторождений, их блоков и залежей (выделение литолого-фациальных комплексов, тектонических нарушений, интрузивных тел)</p> <p>Выделение, оконтуривание продуктивных тел и определение элементов их залегания</p> <p>Опробование разведочных выработок, определение содержания <math>P_2O_5</math> и ряда ингредиентов, оценка и подсчет запасов продуктивных тел</p>	<p>I — IV — ГР, СРМ, МОВ, РНП, ОГТ, ВЭЗ, ЭП, КС, ПС, ГК, (МР)</p> <p>I — IV — НК, ГК, ГКП, ННК, (НАС, НАА, РРА, ГП); кроме того, для III — (ТЛО)</p> <p>I — IV — НАК, НК, ГК, ГКП, ННК, (НАС, НАИ, РРИ, ГП)</p>
<p><i>Асбест</i> (месторождения: I — хризотил-асбестовые; II — антофиллит-асбестовые)</p>	<p>Уточнение особенностей геологического строения поисковых площадей (картирование ультраосновных массивов, выявление и прослеживание зон тектонических нарушений и др.)</p>	<p>I — МР, ГР, СЭП; II — МР, ГР, ЛГС, (ССП-МПВ)</p>	<p>Расчленение геологических разрезов, выделение продуктивных горизонтов, определение элементов залегания их и вмещающих комплексов</p>	<p>I — КС, КМВ, ГГК, НГК, [ФКС, АК, МКС, ВИК, ДК]; II — ФКС, ВИК, ДК</p>

Продолжение табл. 2

1	2	3	4	5
<i>Барит и витерит</i>	<p>Выделение блоков (ядер) слабосерпентинизированных гипербазитов и зон серпентинизации</p> <p>Выявление, оконтуривание и картирование на глубину асбестоносных залежей, оценка элементов их залегания</p> <p>Выявление и оконтуривание ореолов рассеяния бария и залежей барит-витеритовых образований, оценка элементов их залегания</p>	<p>I — МР, МВП, СЭП, (ГР); II — ЛГС, (ССП-МПВ)</p> <p>I — МР, МВП, СЭП, КС, КМВ, ГГК, НГК, АК (ГР), [ДК, ВИК, Тер., ВП]; II — МР, МВП, СЭП, ГР, ЛГС, ГО, ГК, [АК, КС, ДК, ВИК]</p> <p>ГР, СЭП, ДЭП, МСГ, ВЭЗ, ЛГС, (МР, ГМ, РРК)</p>	<p>Опробование разведочных выработок, оценка качества руд и запасов продуктивных тел</p> <p>Выделение и оконтуривание продуктивных тел (пласты, линзы, жилы), определение элементов залегания их и вмещающих комплексов</p> <p>Опробование разведочных выработок, оценка содержания <math>BaSO_4</math> с выделением зон промышленного оруденения</p> <p>Оконтуривание продуктивных тел и определение элементов их залегания</p> <p>Опробование разведочных выработок и скважин, определение битумо- и озокеритонасыщенности</p> <p>Расчленение геологических разрезов, выделение продук-</p>	<p>То же</p> <p>СЭП, ДЭП, КЭП, ГВТ, ГК, КС, РРК</p> <p>ГГКП, РРК, ГОШ</p> <p>I — ВЭЗ, БМК, БКЗ, ДК, Рез, ГК, НГК, [МОВ, ССП-МПВ]; II — ССП-МПВ, КС, БКЗ, ГК, [АК]</p> <p>I — НГК, БК, ГК; II — БК, ГК, [АК]</p> <p>I — III — КС, ПС, ГК, НГК, ННК, НКР</p>
<i>Битум и озокерит</i> (месторождения: I — со структурно-пластовыми залежами битума, асфальтитовые озера; II — с жильными залежами битума и озокерита)	<p>Уточнение особенностей геологического строения поисковых площадей (участков)</p> <p>Выявление продуктивных тел и оценка элементов их залегания</p> <p>Оценка битумонасыщенности продуктивных толщ</p> <p>Уточнение особенностей геологического строения поиско-</p>	<p>I и II — ГР, МОВ, КМПВ, (ЭР, РНП)</p> <p>I — ВЭЗ, (МОВ, ССП-МПВ); II — СЭП, МСГ, КЭП, ССП-МПВ, (ГР)</p> <p>I — КС, ГК, НГК; II — КС, ГК, БК, [АК]</p> <p>I — МАС, МНС, ЗАС, ЭП, ГР, АГСС, ЭС,</p>		
<i>Бор</i> (месторождения: I — эндогенные;				

II — галогенно-осадочные; III — вулканогенно-осадочные)

вых площадей (выявление и прослеживание контактов карбонатных пород с интрузиями, мест сочленения разноориентированных разломов и др.)

Выявление соляных куполов и оценка элементов их залегания

Выявление площадей с повышенной бороносностью

Выявление и оконтуривание зон закарстованности и развития глин в кепроках соляных куполов

Оценка литологии и мощности континентальных озерных отложений

Выяснение особенностей геологического строения поисковых площадей (выявление, оконтуривание зон распространения волластонитовых скарнов и др.)

Уточнение особенностей геологического строения поисковых площадей (картирование участков развития вулканических образований, выявление и прослеживание зон тектонических нарушений и др.)

ЛГС

II — МТЗ, ЗСП, ЧЗ, ДЭЗ, (ЭП, ВЭЗ), МОВ, ГР

I—III — ЛГС, ГГС, НАБС, ГБС, КС, ГК, НГК, НАБ, НРИ

II — СЭП, КЭП, ДЭП, МСГ, ВЭЗ

III — ВЭЗ, ДЭЗ, МПВ, ГР, (МТЗ, ЧЗ, ЗСП, МР)

ГС, ГР, (ВЭЗ, ДИП, ВЭЗ-ВП)

МАС, МНС, ГР, ЭР, ЛГС, [ИКС, Тер., МВТ]

тивных горизонтов и определение элементов их залегания

Опробование разведочных выработок, оценка и определение содержания бора с выделением зон промышленного оруденения

Расчленение геологических разрезов, выделение продуктивных горизонтов и определение элементов их залегания

Опробование разведочных выработок, определение содержания волластонита с выделением зон промышленного оруденения

Выделение и оконтуривание продуктивных тел, оценка элементов залегания их и вмещающих комплексов

Расчленение геологических разрезов, выделение продуктивных горизонтов, определе-

I—III — ННК, НАА

ГК, [ГГКП]

То же

КМПВ, ВЭЗ, [МВТ, Тер., ИКС]

ГК, НГК, КС, [ГГКП]

### Волластонит

### Вулканические стекловатые породы

1	2	3	4	5
<i>Гипс и ангидрит</i>	<p>Выявление продуктивных образований и оценка элементов их залегания</p> <p>Выявление и оконтуривание зон закарстованности и различной сохранности продуктивных образований с оценкой размеров и глубин их залегания</p>	<p>ВЭЗ, СЭП, ДЭП, КС, ГК, (КМПВ, МСК)</p> <p>ВЭЗ, СЭП, КЭП, (ГР)</p>	<p>ние элементов залегания их и вмещающих пород</p> <p>Изучение гидрогеологических особенностей разреза</p> <p>Оконтуривание продуктивных тел и определение элементов их залегания</p> <p>Расчленение геологических разрезов, выделение продуктивных горизонтов (пластов), определение элементов их залегания</p> <p>Изучение зон разрушенности и закарстованности, выделение и оконтуривание карстовых форм, определение размеров и глубин их залегания</p>	<p>КМПВ, ВЭЗ</p> <p>ВЭЗ, СЭП, МСГ, КМПВ</p> <p>КС, ГК, (МСК)</p> <p>ВЭЗ, СЭП, МСГ, КЭП, КМПВ, КС, ГК, (ГВТ, ГМ, МСК)</p>
<p><i>Глинистые породы</i> (месторождения: I — остаточные; II — осадочные и вулканогенно-осадочные; III — гидротермально-метасоматические)</p>	<p>Выяснение особенностей геологического строения поисковых площадей (структурно-тектоническое районирование и др.)</p> <p>Выявление и оконтуривание погребенных эрозийных форм</p> <p>Выявление и прослеживание зон тектонических нарушений</p> <p>Выявление комплексов материнских пород, кор выветри-</p>	<p>I — МР, ГР (ВЭЗ, СЭП, СР), [МПП, МВП]; II — МР, ГР, ВЭЗ, КЭП, СЭП, (СР), [МПП, МВП]; III — МР, ГР, ВЭЗ, КЭП, [МПП, МВП]</p> <p>II — МР, ГР, ВЭЗ, КЭП, СЭП, (СР)</p> <p>I — МР, ГР, (ВЭЗ, СЭП, СР); II — КЭП, СЭП, ВЭЗ, МСГ; III — МР, ГР</p> <p>I — ВЭЗ, СЭП, КЭП, ДЭЗ, МСГ, МР, ГВТ,</p>	<p>Выделение и оконтуривание продуктивных тел, оценка и определение элементов их залегания</p> <p>Расчленение геологических разрезов, выделение продуктивных горизонтов, определение элементов их залегания</p> <p>Изучение гидрогеологических особенностей разреза</p>	<p>I — ВЭЗ, СЭП, КЭП, ДЭП, МСГ, ГВТ, (СРМ, МИ, МР); II — ВЭЗ, СЭП, КЭП, ДЭП, КВЭЗ, (ГР, СРМ); III — ВЭЗ, СЭП, КЭП, ДЭП, МСГ, ГР, (СРМ)</p> <p>I — III — ВЭЗ, ВЭЗ-ВП, СЭП, КЭП, ГК, НГК, КС, ПС, БК</p> <p>I — III — ВЭЗ, СЭП, КЭП, ДЭП, (СРМ, Рез., МС, Рас., Тер.)</p>

вания, площадей развития глинистых образований

Выявление продуктивных образований, оценка элементов их залегания

Выявление площадей развития графитоносных образований, оценка размеров продуктивных толщ и глубин их залегания

Выявление продуктивных тел и оценка элементов их залегания

Выявление особенностей геологического строения поисковых площадей (картирование гипербазитовых, гранитоидных массивов и др.)

Выявление тектонических нарушений и жильных зон

Прослеживание тектонических нарушений, оконтуривание и детализация жильных зон, выделение отдельных жил

(СРМ, МН); II — ВЭЗ, СЭП, КЭП, МР

I — ВЭЗ, СЭП, КЭП, ДЭЗ, МСГ, ГВТ, (СРМ, МИ, МР), [МПП, МВП]; II — ВЭЗ, КВЭЗ, СЭП, КЭП, ДЭЗ, (СРМ, ГР); III — ВЭЗ, СЭП, КЭП, МСГ, ГР

ДИП, МСГ, ЕП, (СЭП, КЭП, МВП, КС)

ДИП, ЕП, МВП, ЭП, ВЭЗ, ВЭЗ-ВП, МПП, ГР, (ССП-МПП, КС)

I — VI — МР; кроме того, для V и VI — ЭП

I — VI — ЭП, МР

I — ЭП, (ЭС, ЛГС); II — ЭП, (ЭС, ЛГС); [ГР]; III и IV — ЭП, (ЭС, ЛГС); V — ЭП, МР, (КрЭП), [РВП, СР, АКП]; VI — ЭП, МР, (КрЭП, ЭС, ПЭМ), [ГТР]

Опробование разведочных выработок, оценка глинистости и пластинности продуктивных пород

Выделение и оконтуривание продуктивных толщ, определение элементов их залегания

Прослеживание продуктивных горизонтов в пространстве между горными выработками

Расчленение геологических разрезов, выделение продуктивных горизонтов и определение элементов их залегания

Выделение и оконтуривание продуктивных тел (жил), определение элементов их залегания

Опробование разведочных выработок, оценка качества отдельных видов сырья

I — ВЭЗ-ВП, ВЭЗ

МЭТ, ВЭЗ, (КС, КСК, КрЭП)

МЭК, КС, КСК, КрЭП, ГГК, [РВП]

КС, КСК, КрЭП, ГГК, [ННК, НГК]

I — VI — МВТ, КЭП, МСГ, (ГИС), [СР, ГВТ]

I — (КМ, ГНК); II — КМ

### Графит

### Камни самоцветные

(месторождения): I — изумруда; II — родонита; III — талько-хлорита; IV — нефрита; V — переливта (агат-переливта); VI — аметиста)

1	2	3	4	5
<p><i>Камни строительные</i></p> <p><i>Карбонатные породы</i> (месторождения неразрушенных карбонатов в: I — платформенных районах; II — горноскладчатых областях; III — месторождения разрушенных карбонатов (продуктов выветривания) в платформенных и горноскладчатых регионах)</p>	<p>Уточнение и выяснение особенностей геологического строения поисковых площадей (картирование массивов изверженных, метаморфических пород и др.)</p> <p>Выявление и оконтуривание продуктивных образований, оценка элементов их залегания</p> <p>Выявление и оконтуривание зон разрушенности и различной сохранности продуктивных образований</p> <p>Выяснение особенностей геологического строения поисковых площадей (выявление площадей развития карбонатных пород неглубокого залегания, выделение участков развития отдельных видов карбонатного сырья и др.)</p> <p>Выявление продуктивных образований и оценка элементов их залегания</p> <p>Выявление и оконтуривание зон разрушенности, закарстованности и различной сохран-</p>	<p>MP, СЭП, ВЭЗ, [ГР, КМПВ]</p> <p>То же</p> <p>“</p> <p>I — КМПВ, СЭП, ВЭЗ, ГР, КЭП, МСГ, Рк, (КС, ПС, ГК, НГК); II — КМПВ, СЭП, ВЭЗ, ГР, МР, (КС, ПС, ГК, НГК, АК, КМВ, МКС); III — КМПВ, (ВЭЗ, ГР)</p> <p>I — СЭП, ВЭЗ, КМПВ, (КС, ГК); II — СЭП, ВЭЗ, НСЭП, МДС, КМПВ, ГР, МР, (Рк, КЭП, МДС, КС, ГК, АК, МКС); III — СЭП, ВЭЗ, КМПВ, ГР, (ГК, АК)</p> <p>I и II — СЭП, ВЭЗ, ГР, КМПВ, КС, ГК, АК, МКС, (МР, РС)</p>	<p>Выделение и оконтуривание продуктивных тел, линз и др., определение элементов их залегания</p> <p>Опробование разведочных выработок, оценка блочности, трещиноватости и санитарно-гигиенической характеристики продуктивных толщ</p> <p>Оценка запасов продуктивных толщ</p> <p>Оконтуривание продуктивных толщ, определение элементов их залегания</p> <p>Расчленение геологических разрезов, выделение продуктивных горизонтов (пластов), определение элементов их залегания</p> <p>Корреляция продуктивных горизонтов (пластов) между скважинами и горными выработками</p> <p>Изучение зон разрушенности</p>	<p>ВЭЗ, СЭП, МР, (КС, ПС)</p> <p>ВЭЗ, СЭП, КВЭЗ, МОВ, КМПВ, ГК, (РВП, АКП)</p> <p>МОВ, КМПВ, ВЭЗ, (МР)</p> <p>I — ВЭЗ, СЭП, КВЭЗ, КМПВ, КС, ПС, ГК, АК, КМВ, (Рк, КЭП, МДС); II — ВЭЗ, СЭП, КВЭЗ, НСЭП, МДС, МР, ГР, КМПВ, КС, ПС, ГК, АК, КМВ; III — ВЭЗ, КМПВ, ГР, КС, ПС, ГК, АК, КМВ, (СЭП, МДС)</p> <p>I — III — КС, ПС, АК, ГК, (НГК, ГГК)</p> <p>I — III — ВЭЗ-П, КМПВ, (МЭК)</p> <p>I и II — СЭП, ВЭЗ,</p>

ности продуктивных образований; оценки размеров и глубин их залегания

Уточнение и выяснение особенностей геологического строения поисковых площадей (выявление участков развития кремнистых пород и др.)  
Выявление продуктивных образований и оценка элементов их залегания

Выяснение особенностей геологического строения поисковых площадей (выявление магнетитно-карбонатных пород, выделение гранитоидных интрузий и др.)

и закарстованности, выделение и оконтуривание карстовых форм, оценка и определение размеров и глубин их залегания

Изучение гидрогеологических особенностей разреза

Опробование разведочных выработок, оценка и определение качества и содержания полезных компонентов карбонатного сырья, а также выделение отдельных его разновидностей

Оконтуривание продуктивных тел и определение элементов их залегания

Расчленение геологических разрезов, выделение продуктивных горизонтов (пластов) и определение элементов их залегания

Выяснение особенностей геологического строения месторождений, отдельных их блоков и залежей (выявление литолого-фациальных комплексов, тектонических нарушений, интрузивных тел и др.)

ДЭП, КМПВ, ГР, КС, ГК, АК, (КВЭЗ, Рк, РС), [МЭК, ГТР, ГСС, ССП-МПВ]; кроме того, для II — (МДС, КЭП, НСЭП, МР)

I — III — ВЭЗ, ЕП, МЗТ, КС, ПС, Рез., Рас., Тер., (КМПВ)

I — ВЭЗ, МВП, КС, БК, ГК, НГК, СНГК, АК, НАК, РРК, РРА, (ПС, ГГК, ЧЭМЗ, ССП-МПВ; II — ВЭЗ, МВП, КС, БК, ГК, НГК, СНГК, АК, НАК, РРК, РРА, (ПС, ГГК, ЧЭМЗ, ССП-МПВ); III — КС, ПС, НГК

ГВТ, (ГТР, ВЭЗ, СЭП, КМПВ, КС, ГК)

КС, ГК, НГК

ВЭЗ, СЭП, ДЭП, МСГ, ГВТ, КМПВ, ССП-МПВ, МР, (КС, ГК, ЛГС, РС), [МДС, Рк, ГСС, ГТР]

*Кремнистые породы*

*Магнетит и брусит*

1	2	3	4	5
<p><i>Пески и песчано-гравийные материалы</i> (месторождения: I — аллювиальные; II — флювиогляциальные, моренные, золовые (пески), морские и озерные; III — шельфовой зоны; IV — прибрежной части озер и русел рек)</p>	<p>Выявление и прослеживание зон тектонических нарушений</p> <p>Выявление залежей магнетита, оценка элементов их залегания</p> <p>Оконтуривание гранитоидных интрузий, картирование участков развития пород основного состава и выявление залежей брусита</p> <p>Выявление и оконтуривание участков закарстованности и повышенной трещиноватости доломит-магнетитовых пород</p> <p>Выявление и оконтуривание участков распространения песчано-гравийных отложений, оценка элементов их залегания</p> <p>Выделение продуктивных образований и оценка элементов их залегания</p>	<p>МР, СЭП, ДЭП, (ГР, СР, ЕП, МСГ-ВП) ГР, КМПВ, ССП-МПВ, СЭП, ДЭП, ВЭЗ, (МР, ЕП, МСГ-ВП) МР, СЭП, ДЭП, КМВ, [ГР, КМПВ, ССП-МПВ]</p> <p>ВЭЗ, СЭП, КЭП, ГР, (КМПВ, ССП-МПВ, ГТР)</p> <p>I — СЭП, ВЭЗ, ГР, КМПВ, (ЧЭМЗ, ПЭЗ); II — СЭП, ВЭЗ, ГР, (ЧЭМЗ, ПЭЗ); III — ЭЛ, САП, ВСП, (ЛБО, ММ, КПМ, ГМ, МЭЗ); IV — МЭЗ, (ММ, КПМ, ГМ, ЭЛ, САП, ВСП, ЛБО)</p> <p>I — СЭП, ВЭЗ, ВЭЗ-ВП, ГР, КМПВ, КС, ГК, (ЧЭМЗ, ПЭЗ); II — СЭП, ВЭЗ, ВЭЗ-ВП, ГР, КС, ГК, (ЧЭМЗ, ПЭЗ); III — ЭЛ, САП, ВСП, (ЛБО, ММ, КПМ, ГМ, МЭЗ), [АК, КС,</p>	<p>Выделение и оконтуривание продуктивных толщ (горизонтов) с определением элементов их залегания</p> <p>Расчленение геологических разрезов, выделение продуктивных горизонтов (пластов), определение элементов их залегания</p> <p>Изучение зон разрушенности и закарстованности, выделение и оконтуривание карстовых форм, оценка и определение размеров и глубин их залегания</p> <p>Расчленение геологических разрезов и изучение их гидрогеологических особенностей, корреляция продуктивных толщ и оценка их мощности</p> <p>Определение качества и оценка запасов продуктивных отложений</p>	<p>То же</p> <p>ГК, ГГКП, НГК, КМВ, ВЭЗ, ГВТ, (КС, ПС, ВП) [АК]</p> <p>ВЭЗ, СЭП, ДЭП, ГВТ, КМПВ, КС, ПС, ГК, [МДС, ГТР, ГСС]</p> <p>I и II — КС, ГК, ВЭЗ, ПЭЗ, ВЭЗ-ВП, КМПВ, [ННК, ГГК, НГК, МВТ]; III — ЭЛ, САП, ВСП, (ЛБО, ГМ, ММ, КПМ, МЭЗ); IV — МЭЗ, (ЛБО, ГМ, ММ, КПМ, ЭЛ, САП, ВСП)</p> <p>I и II — КС, ГК, ВЭЗ-ВП, ПЭЗ, [ННК, ГГК, НГК]; III — (ГМ, ММ, КПМ, МЭЗ), [АК, КС, ГК]; IV — МЭЗ, (ГМ, ММ, КПМ)</p>

*Полевцошпатовое сырье*

*Природная сода* (месторождения: I — лимногенные; II — катагенные)

*Пьезооптические минералы и жильный кварц* (месторождения пегматитовые: I-1 — кварца, I-2 — флюорита; месторождения гидротермальные: II-1 — кварца, II-2 — исландского шпата; III — россыпные месторождения)

См. рекомендации к слюдам,

Картирование озерно-континентальных отложений, выявление и прослеживание тектонических нарушений

Поиск и прослеживание подземных минерализованных вод и оценка содоносности площадей

Уточнение особенностей геологического строения на глубину

Выяснение особенностей геологического строения поисковых площадей (выявление структур, контролирующих размещение продуктивных залежей и др.)

Выявление и оконтуривание продуктивных образований, кварцево-жильных тел и минерализованных шпатоносных зон

ГК]; IV — МЭЗ, (ММ, КМП, ГМ, ЭЛ, САП, ВСП, ЛБО)

пьезооптическим минералам и жильному кварцу

I — ЭР, СР; II — ЭР, СР, МР, ГР, ЭС

I — СЭП, ВЭЗ, ГГС;  
II — ГГС

I и II — ЭК, ГК

I-1 — ВЭЗ, ПЭМ, КЭП, СЭП, МСГ, МАС, МНС, МВТ, (ГР, ГОШ); I-2 — ВЭЗ, ПЭМ, КЭП, СЭП, МСГ, МАС, МНС, МВТ, (ГР, ГОШ); II-1 — ВЭЗ, ПЭМ, КЭП, СЭП, МСГ, МВТ, ГР; II-2 — ВЭЗ, ПЭМ, КЭП, СЭП, МВТ; III — ВЭЗ, ПЭМ, ГР

I-1 — ЛГС, СВЧ, ПЭМ; I-2 — ЛГС, СВЧ, ПЭМ; II-1 — ЛГС, ВЭЗ, МСГ, КЭП, МР, ГР; II-2 — ЛГС, ВЭЗ, МР; III — ВЭЗ, СВЧ, ГВТ

Расчленение геологических разрезов, выделение зон с давсонитовой минерализацией, оценка и определение элементов залегания продуктивных горизонтов (пластов)

Опробование разведочных работок и определение содержания давсонита

Оценка и подсчет запасов солей в минерализованных водах

Выделение, оконтуривание продуктивных (минерализованных) зон, тел, жил и определение элементов их залегания

Прослеживание продуктивных тел (жил) в пространстве между горными выработками

Расчленение геологических разрезов, выделение продуктивных горизонтов (пластов) и определение элементов их залегания

I и II — КС, ГК, НГК, БКЗ, НАК, АК

I и II — НАК-<sup>24</sup> Na

I — СЭП, ВЭЗ

I-1 — ПЭМ, КС, ГК, ГГК (РВП, МЭК); I-2 — ПЭМ, КС, ГК, ГГК, НАК, НАС (РВП, МЭК); II-1 и II-2 — МВТ, КЭП, ВЭЗ, КМВ, ПС, (СРМ, ГВТ); III — ПЭМ, ВЭЗ, (РВП, ГВТ, СРМ)

То же

..

Продолжение табл. 2

1	2	3	4	5
<p><i>Сера самородная</i> (месторождения: I — экзогенные; II — вулканогенные)</p>	<p>Выяснение особенностей геологического строения поисковых площадей Выявление массивов измененных пород Изучение структуры рудных узлов, выявление и прослеживание зон тектонических нарушений Оконтуривание массивов измененных пород, их расчленение на фациальные разности, выявление сульфидно-серных залежей Выявление площадей развития пород с сульфидной минерализацией и собственно серных залежей</p>	<p>I — ВЭЗ; II — МР, ЭР  II — МР, ЕП, ВЭЗ, (ЭП) I — ВЭЗ; II — МР, ЕП, ВЭЗ, ВЭЗ-ВП  II — МР, ЕП, ВЭЗ, ВЭЗ-ВП, СЭП-ВП, ЭП, (КМПВ, МДВ, ПЦС, ГР)  I — ВЭЗ-ВП, (ВЭЗ, ПЦС, ВБР, ГТР)</p>	<p>Уточнение структурных особенностей локализации продуктивных образований Оконтуривание продуктивных тел с оценкой элементов их залегания Расчленение геологических разрезов, выделение продуктивных горизонтов и определение элементов их залегания Оценка серо содержания пород по разрезу</p>	<p>II — ВЭЗ, ВЭЗ-ВП  То же  I — КС, ПС, ГК, ГГКП, ННК, СНГК; II — СГК, СНАК, СНГК I — ГГКП, ННК, СНГК, II — СГК, СНАК, СНГК</p>
<p><i>Слюды</i></p>	<p>Изучение особенностей геологического строения поисковых площадей (структурно-тектоническое районирование, картирование пегматитоносных зон, рудных узлов и др.) Выделение продуктивных свит и оценка их распространения на глубину Перспективная оценка слюдоносности территорий, поиск перспективных на слюду участков (Мамская провинция и др.)</p>	<p>МАС, МНС, АГСС, ГР, ЭАС, ДЭП, МСГ, Рк, МОВ, РНП  То же  МСГ, ДЭП, ЕП, ВП, КруЭП, ГР, МР</p>	<p>Выделение и оконтуривание пегматито- и слюдоносных тел, определение элементов их залегания (Карело-Кольский регион и др.) Опробование разведочных выработок на флогопит</p>	<p>МСГ, ЕП, ГСС, СГК  То же</p>

Соли минеральные

Оконтуривание кор выветривания и оценка их мощности  
Изучение зон экзоконтактных изменений (Карело-Кольский регион и др.)

Прогнозная оценка качества мусковита в жилах (опытная в Мамской провинции)

Выделение флогопитовых жил (Алдан и др.)

Выявление соленосных образований и выделение зон скопления рассолов

Оконтуривание залежей солей, зон скопления рассолов, установление минерального типа образований и оценка элементов их залегания

Уточнение особенностей геологического строения, минералогического состава и элементов залегания залежей солей и соленосных горизонтов

Выяснение особенностей геологического строения поисковых площадей (выявление карбонатных толщ, контактирующих с гранитными интрузиями, кремнистыми и метамор-

То же

ДЭП, МСГ, ЕП, ВП,  
ПЭМ, МР, ГСС

То же

"

ГРМ, ГМ, МТТ, ВЭЗ,  
ЭП, (СР, ГИС)

ГРМ, ГМ, ВМ, ВЭЗ,  
ЭП, ЗСБЗ, ГК, СР

ГРМ, ВМ, ВЭЗ, ЭП,  
РВП, ГК, АК

I — СЭП, ДЭП, МР,  
(РС, ВЭЗ, ГР, КМПВ);  
II — ГР, МР, (СЭП,  
КМПВ)

Выделение и оконтуривание толщ солей и рассольных горизонтов с оценкой элементов их залегания

Прослеживание соляных и рассольных горизонтов в пространстве между горными выработками

Расчленение геологических разрезов, выделение соляных горизонтов, определение элементов их залегания

Изучение разрушенности и закарстованности соляных залежей

Опробование разведочных выработок, определение содержания КСI и ряда ингредиентов, а также подсчет запасов продуктивных толщ

Выделение и оконтуривание продуктивных тел, оценка и определение элементов их залегания

Расчленение геологических разрезов, выделение продуктив-

ВЭЗ, ЭП, ОГТ

ВЭЗ, ЭП, ОГТ,  
ГК, КС

ГК, ГГК, НГК,  
ННК-НТ, НАК, КС,  
БКЗ

ВЭЗ, ЭП, СРМ,  
КС, БКЗ, ГК

ГК, ГГК, НГК,  
ННК-НТ, НАК, КС,  
БКЗ

I и II — ВЭЗ, МВП,  
МР, (СЭП, ДЭП, ГР,  
КМПВ); кроме того,  
для II — ЭС

I и II — КС, ПС,  
ВП, (КрЭП, КСК)

Тальк, тальковый  
камень и пиррофил-  
лит (месторождения:  
I — апокарбонатные;  
II — апогипербазито-  
вые)

Продолжение табл. 2

1	2	3	4	5
<p><i>Флюорит</i></p>	<p>фическими образованиями; выявление гипербазитов, контактирующих с метаморфизованными ультрабазитами и гранитоидами и др.) Выявление и оконтуривание продуктивных образований, оценка элементов их залегания</p> <p>Выявление, прослеживание рудоконтролирующих и рудовмещающих структур и зон тектонической проработки Литологическое картирование и оценка фтороносности поисковых площадей Выявление кварцево-флюоритовых тел и оценка элементов их залегания</p>	<p>I — ВЭЗ, СЭП, ДЭП, КМПВ, МР, (МСГ, ГР, КС, ПС, ВП); II — ВЭЗ, КМПВ, МР, (МСГ, СЭП, ДЭП, ГР, КС, ПС, ВП) МР, ЗАС, ЭП, МИН, ГР, СР, ЛГС, ГС, ЭС ЭП, ЕП, ВЭЗ-ВП, МР, ГР, ЛГС, НАС, ГС ВЭЗ, ЭП, ЕП, ДИП-АФИ, ПЭМ, КМПВ, ГМ, НАС, КС, ГК, СК, ГГКП, НАК</p>	<p>ных горизонтов, оценка и определение элементов их залегания</p> <p>Выяснение особенностей геологического строения месторождений, отдельных их блоков, залежей и флангов Оконтуривание продуктивных тел, линз, жил и определение элементов их залегания Расчленение геологических разрезов, выделение продуктивных горизонтов (пластов), определение элементов их залегания Опробование разведочных выработок, определение содержания флюорита, оценка и подсчет запасов</p>	<p>КЭП, ЕП, Рк, ПЭМ, МЗТ, ГМ, СНАК, КС, ГК, МСК, НАА То же СНАК, КС, ГК, МСК СНАК, КС, ГК, ГСС, НАО</p>
<p><i>Фосфориты</i> (месторождения: I — зернистых и микрозернистых; II — жевлаковых и ракушня-</p>	<p>Уточнение особенностей геологического строения поисковых площадей (выявление тектонических нарушений, интрузивных комплексов, участков</p>	<p>I и II — МР, ГР, ВЭЗ, СЭП, ДЭП, (СР); III — МР, МВТ, ГР, (ВЭЗ, СЭП, ДЭП, СР)</p>	<p>Уточнение особенностей геологического строения месторождений, отдельных их блоков и залежей (выявление литолого-фациальных комплек-</p>	<p>I—III — ВЭЗ, СЭП, ГВТ, СРМ, ССП-МПВ, МВТ, (ГСС, НАС, ЛГС, КС, ПС, БМК, ГК, СГК, ГГКП,</p>

ковых; III — коры выветривания)	закарстованности и др.) Выявление фосфоритоносных образований и оценка элементов их залегания	I и II — ГСС, НАС, ЛГС, РК, СРМ, (СЭП, ВЗЗ, МВП, ЕП, ГР, ЭС); III — ГСС, НАС, ЛГС, РК, СРМ, ЭР, МВТ, ГР, (ЭС)	сов, тектонических нарушений, интрузивных тел) Оконтуривание продуктивных тел и определение элементов их залегания Расчленение геологических разрезов, выделение продуктивных горизонтов (пластов) и определение элементов их залегания Корреляция продуктивных горизонтов (пластов) между скважинами и горными выработками Изучение зон разрушенности и закарстованности, выделение и оконтуривание карстовых форм, оценка и определение размеров и глубин их залегания Опробование разведочных выработок, определение содержания $P_2O_5$ и ряда ингредиентов, оценка и подсчет запасов залежей фосфоритов	НАК, ЕП, МВП) То же I—III — ГК, СГК, НАК, КС, ГО, ГСО, (БМК) I—III — ГК, СГК, НАК, КС, (БМК) I—III — ВЗЗ, СЭП, ГВТ, КМПВ, ССП-МПВ, МВТ, (ГСС, НАС, ЛГС, КС, ПС, БМК, ГК, СГК, ЕП, МВП) I—III — ГК, СГК, НАК, КС, ГО, ГСО, (БМК, ГГК, ННК)
Шунгитсодержащие породы	Выяснение особенностей геологического строения поисковых площадей (выявление площадей развития шунгитсодержащих пород и др.) Выявление и прослеживание зон тектонических нарушений	ЗАС, ЕП, ВЗЗ, СЭП, (МР)	Выяснение особенностей геологического строения месторождений, отдельных их блоков, картирование тектонических нарушений Выделение и оконтуривание продуктивных тел, определение элементов их залегания Выделение блоков продуктивных пород с различными технологическими свойствами	ЕП, ВЗЗ, СЭП, МР ЕП, ВЗЗ, СЭП, КС, ГГК, ГГК ЕП, СЭП, КС, ГГК, ГГК, КрЭП, КСК

Продолжение табл. 2

1	2	3	4	5
<i>Целестин</i>	<p>Уточнение особенностей геологического строения поисковых площадей (оконтуривание брахиантиклинальных структур и поднятий I порядка и др.)</p> <p>Оконтуривание рудных тел и оценка элементов их залегания</p> <p>Выделение зон трещиноватости пород разреза и оценка мощности рыхлых образований</p>	<p>ГР, ВЗЗ, МТТ, МОВ</p> <p>ВЗЗ, СЭП, РРС, ГР, ГИС</p> <p>ГР, СР, ВЗЗ, СЭП, ГИС</p>	<p>Расчленение геологических разрезов, выделение продуктивных горизонтов (пластов), оценка элементов их залегания</p> <p>Опробование разведочных выработок с оценкой стронцийсодержания пород</p>	<p>РРС, РРО, КС, ПС ГК, РПК</p> <p>То же</p>
<i>Цеолиты</i>	<p>Уточнение особенностей геологического строения поисковых площадей (структурно-тектоническое районирование, картирование участков развития цеолитизированных отложений и др.)</p>	<p>ГР, (МР), [РС, ВЗЗ]</p>	<p>Опробование разведочных выработок и оценка содержания полезного компонента</p>	<p>ГК, [ГКПК]</p>

Примечание. См. примечания к табл. 1.

ется комплекс геофизических работ, включающий в себя электроразведку ЕП, ВЭЗ и ВП. Методические же особенности этих и других геофизических работ (масштаб и точность съемки, параметры сети наблюдений и т.д.), а также специфические приемы интерпретации получаемых материалов следует рассматривать только применительно к наиболее характерным для района поиска и разведки условиям (геологическое строение, геолого-геофизическая изученность, геоморфологические и ландшафтно-климатические особенности, дифференцированность физических свойств и петрофизических характеристик продуктивных и вмещающих образований, ожидаемые типы оруденений и т.д.).

Рекомендуемая комплексность геофизических исследований для поиска и разведки месторождений отдельных групп нерудного сырья должна уточняться и детализироваться с учетом конкретных геологических условий и обусловленных ими нередко специфических для отдельных месторождений физико-геологических предпосылок. Основные геологические задачи целесообразно решать путем не только рационального комплексирования геологических, гесхимических и геофизических методов, но и определения оптимальной стадийности и последовательности их постановки, что обеспечит повышение геологической результативности (информативности) и экономической эффективности (рентабельности) общего цикла поисково-разведочных работ в конкретном регионе. Кроме собственно производственных геофизических исследований необходимо также проводить соответствующие тематические и опытно-методические работы, на целесообразность и характер которых указано в рассматриваемых ниже рекомендациях. Несомненно, что накопление опыта поиска и разведки соответствующих месторождений, а также прогресс в методике и технике геофизических исследований позволят выбирать по сравнению с приведенными более узкие и более рациональные комплексы геофизических методов для решения конкретных геологических задач (табл. 2).

## АПАТИТ

Одним из важнейших видов фосфатного сырья являются апатитоносные образования, представленные различными породами с повышенными содержаниями в них минерала апатита. Апатитовые руды используются в основном для получения фосфорных удобрений, а также для производства элементарного фосфора и фосфорсодержащих соединений, применяемых в химической, пищевой промышленности, медицине, фотографии, металлургии и в других отраслях народного хозяйства.

Промышленные скопления апатитовых руд приурочены к изверженно-метаморфическим комплексам пород, среди которых с учетом петрографо-фациального состава и формационной принадлежности выделяются: апатитосодержащие комплексные руды, связанные с формациями аглаитовых нефелиновых сиенитов, ультраосновных щелочных пород и карбонатитов; собственно апатитовые руды, входящие в формацию щелочных габброидов, апатитосодержащие комплексные руды, связанные с базито-

вой, другими магматическими, а также метаморфогенными формациями. Апатитоносные массивы распространены на значительную глубину, обычно имеют крупные размеры в плане и достаточно отчетливые, в ряде случаев крутопадающие, контакты, нередко контролируемые тектоническими нарушениями. Относительно вмещающих образований продуктивные породы и руды, как правило, характеризуются отличием ряда физических параметров, однако эта дифференциация несколько различна в зависимости от формационной принадлежности продуктивных залежей.

На Хибинском массиве, где промышленное оруденение связано с формацией агапитовых нефелиновых сиенитов, интрузивные образования характеризуются  $\sigma$  порядка  $2,64-2,70 \text{ г/см}^3$ . Несколько выше она ( $2,66-2,88 \text{ г/см}^3$ ) у продуктивных ийолит-уртитовых пород [25] при избыточной плотности  $\Delta\sigma$  апатито-нефелиновых руд относительно уртитов порядка  $0,2-0,25 \text{ г/см}^3$ , хибинитов, рисчорритов и фойяитов — до  $0,4 \text{ г/см}^3$ . По С.Н. Химичу,  $\sigma_{\text{ср}}$  апатито-нефелиновых руд составляет не менее  $2,91-3,16 \text{ г/см}^3$ , причем богатые руды ( $\sigma_{\text{ср}} = 3,10 \div 3,14 \text{ г/см}^3$ ) плотнее бедных ( $\sigma_{\text{ср}} = 2,91 \div 3,13 \text{ г/см}^3$ ). Еще выше  $\sigma$  у апатитовых минералов ( $3,18-3,23 \text{ г/см}^3$ ) при прямой зависимости их  $\sigma$  от содержания редкоземельных элементов. Корреляционные связи существуют между плотностью и процентным содержанием темноцветных минералов в ийолит-уртитовых породах, а также между  $\sigma$  апатито-нефелиновых руд и содержанием в них  $\text{P}_2\text{O}_5$ .

У пород ийолит-уртитового комплекса Хибинского массива магнитная восприимчивость  $k$  также зависит от содержания темноцветных минералов и у большинства вмещающих апатитовые залежи пород она порядка  $(160-600) \cdot 10^{-5}$  ед. СИ. Несколько выше  $k$  у уртитов, ювитов, нефелиновых сиенитов и апатито-нефелиновых пород  $[(1000-1800) \times 10^{-5}$  ед. СИ].

Продуктивные и вмещающие образования в Хибинах имеют, как правило, значения  $\rho$  до  $170-200 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ , которые изменяются в зависимости от вещественного состава, трещиноватости и влагонасыщенности пород. Отдельные разновидности последних на Хибинском массиве различаются по своим сейсмоакустическим параметрам. Относительно вмещающих метаморфических толщ интрузивные образования массива обладают, согласно Г.С. Игнатъевой, повышенными величинами естественной радиоактивности  $I_\gamma$  (до  $2,9-4,3 \text{ пА/кг}$ ) при несколько меньшей  $\gamma$ -активности ( $0,7-1,8 \text{ пА/кг}$ ) продуктивных ийолит-уртитов и апатито-нефелиновых руд. Несколько больше  $I_\gamma$  у непродуктивных ийолит-уртитов, хибинитов, рисчорритов; еще выше она у апатитовых руд, связанных с зонами шпреуштейнизации (до  $2,8 \text{ пА/кг}$ ) и жильными образованиями (до  $57 \text{ пА/кг}$ ). Установлены аномальные пьезоэлектрические свойства нефелинсодержащих пород и достаточно тесные корреляционные связи между концентрациями отдельных ингредиентов апатито-нефелиновых руд, из которых наиболее широко используется связь между  $\text{P}_2\text{O}_5$  и  $\text{F}_2$ .

Физические свойства апатитоносных образований, генетически связанных с формациями ультраосновных щелочных пород и карбонатитов, в большей степени обусловлены сопутствующим железорудным и редкоме-

тальным оруденением и присутствием минералов с повышенными значениями  $\sigma$ ,  $\kappa$ ,  $I_{\gamma}$ , чем влиянием собственно фосфатоносных пород и минералов. По отношению к вмещающим песчано-сланцевым толщам ( $\sigma \approx 2,65 \text{ г/см}^3$ ) ультраосновные щелочные породы и карбонатиты обладают  $\Delta\sigma$  не менее  $0,1-0,2 \text{ г/см}^3$ . Наиболее высокая  $\sigma$  у ийолит-мельтейгитов и ультраосновных пород, особенно у анкеритовых карбонатитов (до  $2,9-3,1 \text{ г/см}^3$ ), из-за чего амплитуда аномалий  $\Delta\sigma$  над не ограниченными на глубину карбонатитовыми массивами поперечных размеров порядка  $3,5 \times 5 \text{ км}$  может достигать, как показано в 1970 г. Г.С. Вахромеевым и В.Н. Таборовым,  $140-160 \text{ мкН/кг}$ .

Продуктивные породы, связанные с формациями ультраосновных щелочных пород и карбонатитов, характеризуются широким диапазоном изменения  $\kappa$ , минимальными значениями которой обладают анкеритовые карбонатиты, а наиболее высокими — ультраосновные породы. Собственно апатитоносные образования, в ряде случаев сопровождающиеся интенсивной магнетитовой минерализацией, имеют высокие значения магнитной восприимчивости ( $0,3-0,4 \text{ ед. СИ}$ ).

Ультраосновные щелочные породы и карбонатиты, за редким исключением, характеризуются повышенными значениями  $I_{\gamma}$  по сравнению с вмещающими их толщами. Наиболее радиоактивны нефелиновые и лейкократовые щелочные сиениты и карбонатиты, меньшей  $\gamma$ -активностью обладают щелочные породы мельтейгит-уртитовой серии. Ультраосновные пикритовые порфириты слабоактивны и близки по этому параметру к вмещающим породам. Природа  $\gamma$ -активности карбонатитов, в том числе апатитоносных, в основном смешанная (уран-ториевая), однако отмечаются и преимущественные преобладания одной из них.

Карбонатиты обычно характеризуются более высокими значениями  $\rho$  (до  $3000 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ ), чем вмещающие осадочно-метаморфические породы (например,  $\rho$  сланцевых серий иногда достигает лишь нескольких сот ом-метров). Внутри ультраосновных щелочных и карбонатитовых массивов дифференциация пород по электрическим свойствам менее значительна (для ийолит-мельтейгитов  $\rho \approx 1000 \div 2000 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ , пикритовых порфиритов  $\rho \approx 2500 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ , диабазов  $\rho \approx 1500 \div 2000 \text{ Ом}\cdot\text{м}$  и более). Сопротивление собственно апатито-магнетитовых руд обычно невысокое (сотни ом-метров), что в немалой степени предопределяется их часто повышенной электронной проводимостью и электрохимической активностью.

В Маймеча-Котуйской провинции породы апатитоносных карбонатитовых массивов нередко характеризуются повышенными значениями  $I_{\gamma}$  ( $1,8-4,3 \text{ пА/кг}$ ) и пониженными  $\kappa$  по сравнению с менее активными ( $1,1-1,4 \text{ пА/кг}$ ) и более "магнитными" ( $0,3-0,4 \text{ ед. СИ}$ ) ультраосновными щелочными породами. У карбонатитов с магнетитовым оруденением  $\kappa$ , как правило, резко возрастает и порой бывает выше, чем у ультраосновных щелочных пород. Для вмещающих осадочно-метаморфических образований характерны пониженные значения  $\kappa$  ( $190-250 \cdot 10^{-5} \text{ ед. СИ}$ ) и радиоактивности ( $0,7-1,1 \text{ пА/кг}$ ). Апатитоносные ийолиты рассматриваемой провинции отличаются от вмещающих пород также повышенными значениями  $\sigma$ ,  $\nu$  и пористости ( $k_p$ ).

Апатитоносные породы Ошурковского месторождения, относимого рядом исследователей к формации щелочных габброидов, обладают заметной  $\Delta\sigma$  (0,25–0,3 г/см<sup>3</sup>) относительно вмещающих интрузивных образований. Плотность рыхлых отложений, перекрывающих апатитоносные породы, порядка 1,5–1,8 и даже 2,0–2,3 г/см<sup>3</sup>, а гранитов – не более 1,2–1,4 г/см<sup>3</sup>. Диориты с промышленным содержанием  $P_2O_5$  обладают повышенной  $\Delta\sigma$  (0,11 г/см<sup>3</sup>) относительно диоритов с некондиционной апатитоносностью. По величинам  $I_\gamma$  гибридные породы здесь в 2–3 раза активнее апатитоносных диоритов, причем  $\gamma$ -активность последних уменьшается с увеличением концентрации  $P_2O_5$ . Апатитсодержащие комплексные руды, связанные с базитовыми, другими магматическими, а также метаморфогенными формациями, характеризуются относительно интрузивных и других вмещающих пород пониженными значениями  $\sigma$ ,  $k$ ,  $I_\gamma$  и повышенной электропроводностью.

Особенности геологического строения апатитоносных образований, изменения физических свойств продуктивных и вмещающих комплексов, а также структурно-тектонические и некоторые другие факторы, контролирующие развитие залежей рассматриваемого вида фосфатного сырья, нередко обуславливают благоприятные физико-геологические предпосылки для проведения соответствующих геофизических исследований.

При описании залежей апатита, генетически связанных, например, с массивами ультраосновных щелочных пород и карбонатитов, объекты геофизических исследований могут представляться ФГМ в виде соосных вертикальных цилиндров, имеющих по сравнению с вмещающими образованиями повышенные значения магнитной восприимчивости и естественной радиоактивности. В связи с этим оправданно использование при поиске таких залежей магниторазведки и радиометрии, особенно в варианте комплексной аэрогеофизической съемки. На подстадии детального поиска интерес будут представлять пласто- и столбообразные рудные зоны, обогащенные апатитом, редкими элементами, а также характеризующиеся аномальной радиоактивностью и ореолами рассеяния Р, Мп, Nb и других элементов. Отсюда следует, что комплекс геофизических методов должен включать в себя высокоточную гравиразведку и детальную радиометрию в сочетании с геохимической съемкой. Несколько отличные ФГМ, а соответственно и комплексы геофизических методов будут характерны для поиска и разведки месторождений апатита, связанных с другими формационными комплексами.

На различных подстадиях поисковых работ геофизические методы рекомендуется применять для выявления и картирования массивов продуктивных пород, непосредственных поисков в их пределах собственно апатитоносных тел и решения некоторых других задач (см. табл. 2). При поисках месторождений, связанных с формацией агапитовых нефелиновых сиенитов, магнито-, грави- и сейсморазведка обеспечивают изучение контактов глубины распространения, общей структуры и морфологии ийолит-уртитового комплекса [23]. Контакты Хибинского плутона и глубинная структура ийолит-уртитового комплекса выясняются по результатам комплексной интерпретации данных гравимагнитных и сейсмо-

разведочных исследований. Сейсморазведка выполняется здесь различными методами (МОВ, КМПВ, РНП, ОГТ) и обеспечивает, как показали в 1976 г. А.А. Иванов, Л.К. Кокорина, М.Е. Меламуд и другие, изучение особенностей глубинного строения массива и картирование крупных тектонических нарушений. Выявление и прослеживание мелких тектонических нарушений и других неоднородностей верхней части разреза проводится обычно с помощью электроразведки в модификациях ВЭЗ, СЭП и реже КЭП.

Йолиит-уртитовые комплексы, отличающиеся от вмещающих пород  $\sigma$  и  $\kappa$ , картируются повышенными значениями гравимагнитных полей. Достаточно мощные (десятики метров и более) и неглубокозалегающие апатитносные рудные тела отмечаются в таких полях локальными положительными аномалиями  $\Delta g$ , совпадающими с участками слабодифференцированного поля  $\Delta Z$  и зонами пониженной радиоактивности. Из-за достаточно близких значений  $\kappa$  у йолиит-уртитовых и апатито-нефелиновых образований, характер поля  $\Delta Z$  над ними обычно сходный. По материалам магниторазведки в ряде случаев прослеживаются контакты ювитов и продуктивных комплексов пород, а рудные залежи отмечаются локальными максимумами  $\Delta g$  (рис. 2). Изучение особенностей геологического строения некоторых рудных полей в Хибинах проводилось и подземной гравиметрической съемкой.

По материалам градиентометрических съемок над уртит-апатитовыми породами и рисчорритами в ряде случаев отмечаются резкие и незакономерные изменения градиента поля силы тяжести интенсивностью, по Г.Н. Шаблинскому (1967 г.), до  $60-80 \text{ нс}^{-2}$ , однако возможности этого метода для поиска апатитносных образований рассматриваемого типа ограничены. Трансформация наблюдаемых гравиметрических данных и использование производных потенциала силы тяжести не всегда обеспечивают получение дополнительной информации о собственно апатитносных образованиях. При выявлении последних исходя из определенной дифференцированности ряда пород массива по пьезоэлектрическим свойствам нужно опробовать ПЭМ в наземном варианте.

При поиске месторождений апатитсодержащих комплексных руд, связанных с формацией ультраосновных щелочных пород и карбо-

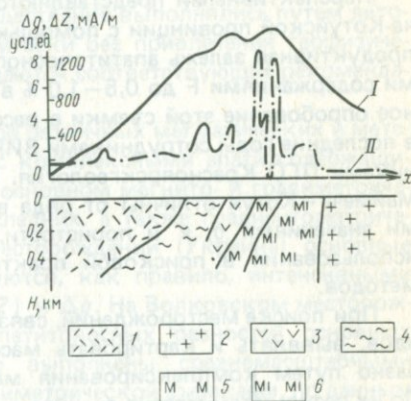


Рис. 2. Результаты геофизических исследований при поиске апатитносных тел на Хибинском плутоне (по Г.Н. Шаблинскому).

Кривые: 1 —  $\Delta g$ ; II —  $\Delta Z$ ; 1 — нефелиновые сиениты; 2 — хибиниты; 3 — ювиты; продуктивный комплекс; 4 — уртиты, 5 — йолиит-мельтейгиты, 6 — йолииты

натитов, геофизические методы рекомендуется привлекать к решению различных геологических задач (см. табл. 2). Для выявления и картирования массивов продуктивных пород целесообразно комплексировать магнито- и радиометрические съемки в аэро- и наземном вариантах [34]. Так, в Маймеча-Котуйской, Восточно-Саянской и других провинциях над массивами ультраосновных щелочных пород обычно наблюдаются изометричные в плане аномалии  $\Delta T$  ( $\Delta Z$ ) амплитудой в тысячи миллиампер на 1 м, отражающие в целом концентрически-зональное строение этих массивов. По данным среднемасштабной аэромагнитной съемки здесь выявлен ряд таких массивов, на одном из которых открыто Ессейское месторождение апатита с концентрациями  $P_2O_5$  в магнетит-апатитовых породах до 19–22 %.

Наиболее высокие значения геомагнитного поля отмечаются над крайними частями массивов ультраосновных щелочных пород, пониженные — над карбонатитовыми ядрами. К карбонатитам нередко приурочены также интенсивные (до десятков пикоампер на 1 кг) аномалии естественной  $\gamma$ -активности и высокие концентрации радиоактивных эманаций. Поиски и картирование массивов продуктивных пород и собственно апатитоносных тел целесообразно выполнять, дополняя комплекс магнито- и радиометрических съемок электроразведкой (ВЭЗ, СЭП) и литогеохимическим опробованием на фосфор, фтор, редкие и редкоземельные элементы. Ореолы рассеяния этих элементов развиты практически по всей площади ультраосновных щелочных массивов, однако наиболее интенсивны они обычно над апатитоносными карбонатитами.

Перспективными представляются поиски апатитовых залежей Маймеча-Котуйской провинции с помощью НАС, по данным которой, например, продуктивная залежь апатитоносного массива Маган отмечена аномальными содержаниями F до 0,5–1,0 % в поверхностных образованиях. Успешное опробование этой съемки в рассматриваемой провинции выполняется в последние годы сотрудниками ВИРГ объединения Рудгеофизика и работниками ПГО Красноярскгеология. Известно, что апатитоносные ийолиты Маймеча—Котуя отличны от ряда вмещающих образований повышенными значениями  $\sigma$ ,  $\nu$  и пористости, что свидетельствует о возможности использования в поисковой практике соответствующих геофизических методов.

При поиске месторождений, связанных с формацией щелочных габброидов, выявлять и картировать массивы продуктивных пород целесообразно путем комплексирования магнито- и радиометрической съемки. По их результатам массив сиенито-диоритовых пород, к которому приурочено Ошурковское месторождение (Забайкалье), отмечен повышенными значениями поля  $\Delta Z$  и пониженными  $\gamma$ -активности. На данном месторождении установлена также дифференциация по  $\sigma$  апатитоносных диоритов и вмещающих безрудных пород. Различаются здесь же по плотности и делювиально-аллювиальные отложения над апатитоносными образованиями и гранитами, а также диориты с балансовым и забалансовым содержанием  $P_2O_5$ . При поисках собственно апатитоносных залежей и изучении особенностей геологического строения Ошурковского месторождения на

нем опробованы НАС, малоглубинная сейсморазведка, комплекс ГИС, электроразведка и наземная гамма-плотнометрия, однако применение ряда этих и некоторых других геофизических методов требует проведения соответствующих опытно-методических работ. В объединении Рудгеофизика разработана программа комплексной интерпретации данных, полученных геофизическими методами на Ошурковском месторождении, с привлечением результатов литогеохимической съемки. На Покровском рудопроявлении апатита (Забайкалье) отмечена приуроченность к гнейсированным диоритовым породам с повышенным содержанием в них  $P_2O_5$  аномалий геомагнитного (400—640 мА/м) и радиоактивного (0,7 — 1,4 пА/кг) полей.

При поиске рассмотренных типов месторождений, связанных с формациями агапитовых сиенитов, ультраосновных щелочных пород и карбонатитов, щелочных габброидов, геофизические методы рекомендуются для решения как общегеологических задач, так и для поиска собственно апатитоносного оруденения. При поиске же месторождений, связанных с базитовыми и другими магматическими, а также метаморфогенными формациями, геофизические методы в основном привлекались к выявлению и картированию отдельных фациальных комплексов пород, имеющих различные виды металлического оруденения, в ряде случаев обогащенного и апатитовым. Применительно к этим месторождениям апатитосодержащих комплексных руд геофизические исследования использовались и для выяснения различных особенностей геологического строения площадей поисковых работ. Установление же и изучение апатитоносности различных комплексов пород преимущественно выполнялись путем литогеохимического опробования и практически без привлечения геофизических исследований. С учетом этого и даются соответствующие рекомендации (см. табл. 2).

Выявление и картирование массивов различных магматических и метаморфогенных образований, нередко с комплексными апатитосодержащими рудами, необходимо выполнять в основном магнито- и гравиметрическими съемками. По результатам последних, а также градиентометрической съемки на Стремигородском месторождении (Украина) основные и ультраосновные интрузии фиксируются, как правило, интенсивными положительными аномалиями  $\Delta T$  ( $\Delta Z$ ) и  $\Delta g$ . На Волковском месторождении комплексных руд поиски апатитоносных разностей основных и ультраосновных пород успешно выполнены среднemasштабными (1:25 000 — 1:50 000) магнито- и гравиметрической съемками, по данным которых амплитуда аномалий  $\Delta Z$  над такими породами достигает тысяч и нескольких десятков тысяч миллиампер на 1 м, а оруденелые базиты и гипербазиты отмечаются аномалиями  $\Delta g$  интенсивностью порядка первых десятков микроньютон на 1 кг.

На Кручинском месторождении (Забайкалье) картирование интрузивных образований с комплексными апатито-титано-магнетито-ильменитовыми рудами выполнялось с помощью магнито- и электроразведки. При интерпретации данных привлекались также результаты радиометрической съемки и ГИС. Геофизическими исследованиями на Маркопидж-

ском месторождении (Северный Кавказ) установлена приуроченность апатито-карбонатных пород, содержащих магнитные минералы, к достаточно интенсивным (до 1200—1600 мА/м) аномалиям поля  $\Delta Z$  на фоне слабомагнитных метасоматически измененных вмещающих образований.

Метаморфогенные апатитсодержащие образования Селигдарского месторождения нередко отмечаются достаточно отчетливыми аномалиями повышенной  $\gamma$ -активности и пониженными величинами поля  $\Delta T$  ( $\Delta Z$ ). Над апатитоносными комплексами пород Слюдянского флогопит-apatитового месторождения радиометрической съемкой выявлены несколько повышенные значения естественной  $\gamma$ -активности. Результативны геофизические исследования и при поиске продуктивных залежей апатитотитано-магнетитовых руд анортозитовой формации, выявление которых перспективно в ряде восточных регионов СССР.

При предварительной и детальной разведке месторождений апатита различной формационной принадлежности геофизические методы необходимо применять для уточнения особенностей геологического строения разведываемых площадей и для изучения на них собственно апатитового оруденения (см. табл. 2). Для решения этих и некоторых других задач целесообразно использовать различные геофизические методы, рекомендуемая комплексность применения которых рассматривается ниже для конкретных геологических задач на отдельных типах месторождений.

На месторождениях апатита, связанных с формацией агапитовых нефелиновых сиенитов, геофизические методы обеспечивают решение различных задач по уточнению особенностей геологического строения месторождений в целом и отдельных их блоков. Так, для определения мощности, глубины и характера залегания продуктивных толщ, вмещающих и перекрывающих комплексов пород, степени их сохранности и тектонической нарушенности рекомендуется проводить детальную и высокоточную гравиметровую съемку, сейсмо- и электроразведку, используя их различные модификации, а в незначительном объеме и магнитометрическую съемку (см. табл. 2).

При изучении собственно апатитоносных образований геофизические методы необходимо использовать для выделения участков развития продуктивного оруденения, установления границ распространения балансовых и забалансовых руд, оценки качества апатито-нефелиновых руд, определения в них процентного содержания  $P_2O_5$  и ряда других ингредиентов. Информативное, надежное и достаточно точное решение отмеченных и некоторых других задач в основном обеспечивают различные модификации ядерно-геофизических исследований (рис. 3), из которых на месторождениях Хибин наиболее широко и успешно применяется НАК в двух основных модификациях НАК- $^{16}N$  и НАК- $^{28}Al$  [37]. При концентрациях  $P_2O_5$  в породах от 6 до 32 % расхождения показаний НАК и химического опробования обычно не превышают 4—6 % и заметно возрастают (до 20—24 %) лишь при достаточно низких содержаниях  $P_2O_5$ , что обусловлено изменениями плотности, влажности пород и другими факторами. Благодаря высокой точности и достоверности ядерно-геофизических исследований, их данные успешно использованы при подсчете запасов на ряде месторождений.

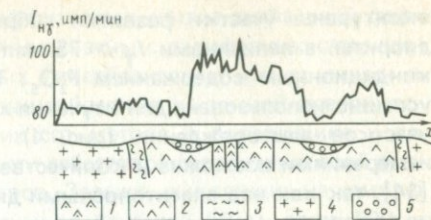
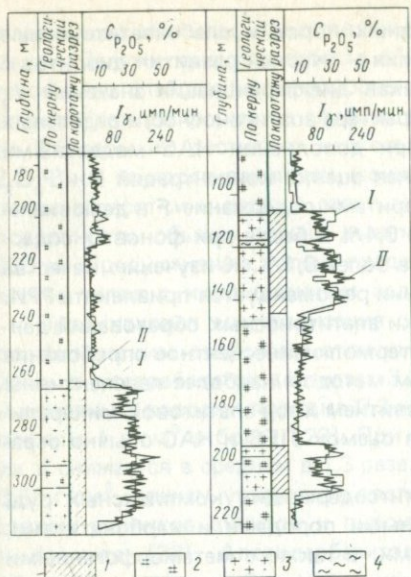


Рис. 4. Результаты НАС на Ошурковском месторождении апатита (по А.Н. Горбачеву и др., 1970 г.).

Диориты с содержанием апатита: 1 — промышленным, 2 — непромышленным; 3 — гибридные породы; 4 — граниты; 5 — аллювий

Рис. 3. Результаты НАК и опробования керн на апатитовом месторождении Кольского полуострова (по И.П. Кошелеву и др.).

I — кривая НАК; II — данные опробования керн; 1 — рудная зона; 2 — сфено-apatитово-уртитовые породы; 3 — апатито-нефелиновая руда; 4 — сфеновый ийолит

При разведке месторождений Хибин в комплексе с НАК используют, как показали Г.И. Близнок, Ф.И. Свяжеников, Г.И. Елисеев, и другие модификации скважинных ядерно-геофизических исследований: ГК и ГКП — для литологического расчленения геологических разрезов, выделения и разделения достаточно плотных сфено-apatитовых и апатито-нефелиновых образований, ННК-Т — для установления в апатито-нефелиновых образованиях окисленных и неокисленных разностей руд и др. [37]. При анализе содержания в апатитовых рудах  $P_2O_5$  и  $CaO$  целесообразно более широко опробовать метод РРИ.

Для изучения собственно апатитоносных образований применимы и наземные модификации ядерно-геофизических исследований. Разработаны, в частности, НАС в пешеходном, автомобильном и шпуровом вариантах, методы НАИ для определения  $P_2O_5$  в пробах при полевом и лабораторном их изучении и технологическом анализе апатитовых руд в процессе добычи и переработки [13, 37].

При разведке апатитоносных образований, связанных с формацией щелочных габброидов, рекомендуется использовать комплекс наземных и скважинных геофизических исследований (см. табл. 2), в целом аналогичный рассмотренному выше. Так, при изучении Ошурковского месторождения результативной оказалась НАС (сеть  $20 \times 200$  м), по данным которой на фоне относительно пониженных значений наведенной  $\gamma$ -активности над гранитами ( $I_\gamma \leq 25$  имп/мин) показаниями  $I_\gamma \approx 25-30$  имп/мин

оконтурены участки развития гибридных пород и слабоапатитоносные диориты, а величинами  $I_{\gamma} > 75$  имп/мин — участки развития диоритов с кондиционным содержанием  $P_2O_5$ . Такая дифференциация значений  $I_{\gamma}$  успешно использована для изучения характера апатитоносности отдельных участков месторождения (рис. 4). При дополнении НАС модельными измерениями возможна и количественная оценка концентраций F и  $P_2O_5$  [14], так как над апатитоносными диоритами содержание F в делювиально-аллювиальных отложениях порядка 0,4 % и более при фоновых содержаниях над вмещающими гранитами не более 0,1 %. К изучению качества апатитовых руд в естественном залегании рекомендуется привлекать РРИ. Определенные возможности для оценки апатитоносных образований данного типа на содержание  $P_2O_5$  имеет и термолюминесцентное опробование рыхлых отложений. Исследования этим методом наиболее перспективны на площадях с преимущественным развитием хлор-apatитовой минерализации, где геологические возможности съемок ЛГС и НАС обычно ограничены.

При разведке месторождений апатитосодержащих комплексных руд, связанных с ультраосновными щелочными породами и карбонатитами, с базитовой и другими магматическими, а также с метаморфогенными формациями, рекомендуемые комплексы геофизических исследований в основном даны в плане решения задач по уточнению особенностей геологического строения изучаемых площадей и разрезов (см. табл. 2). Опыт разведки геофизическими методами собственно апатитоносных образований месторождений данных типов незначителен, в связи с чем до проведения опытно-методических работ для решения соответствующих задач следует использовать комплекс геофизических методов, успешно применяемых при разведке апатитовых месторождений других формационных принадлежностей.

## АСБЕСТ

К рассматриваемому сырью относятся легко расщепляемые на тонкие прочные волокна минералы, являющиеся водными силикатами Mg, Fe, Ca и Na. Специфичные и разнообразные свойства асбестов (теплостойкость, химическая инертность, низкая тепло-, звуко- и электропроводность и др.) позволяют широко использовать их в различных отраслях народного хозяйства (приготовление противопожарной техники, огне- и теплозащитных, кислото- и щелочеупорных изделий, тормозных, уплотняющих, электроизоляционных и фильтрующих деталей, строительных материалов и др.). Залежи хризотил- и амфибол-асбестовой минерализации различаются геологическим строением, генетической приуроченностью, физическими свойствами пород, что обуславливает и методические особенности соответствующих геофизических исследований.

*Месторождения хризотил-асбеста.* Большинство залежей генетически связано с серпентинизированными ультраосновными массивами дунит-гарцбургитовой формации, приуроченными к глубинным разломам и распадающимися на крыльях синклиналиев, реже антиклиналиев. Породы,

вмещающие массивы, представлены эффузивами спилит-диабазовой формации. Залежи хризотил-асбеста обычно связаны с периферическими частями ядер слабосерпентинизированных гипербазитов и имеют линзо- и штокообразную форму на глубине и чашеобразную на земной поверхности. Размеры их достигают нескольких сот метров в поперечнике и до 2,5–3 км по простиранию при мощности асбестовой серпентинитовой оторочки в десятки и первые сотни метров. Залежи, выходящие на земную поверхность, обычно сильно выветрены до глубины 50 м, реже 100–200 м. Продуктивные толщи представлены рудами прожилкового и сетчатого типов с кондиционным содержанием волокна порядка 1–3,5 %.

Продуктивная минерализация связана с ультраосновными породами, по физическим свойствам отличным от вмещающих пород. Так, плотность  $\sigma$  ультрабазитов достигает 3,20–3,36 г/см<sup>3</sup>, а их  $\Delta\sigma$  по отношению к основным породам порядка 0,2–0,3 г/см<sup>3</sup>, кислым 0,3–0,6 г/см<sup>3</sup>, осадочным 1 г/см<sup>3</sup> и более [23]. При полной серпентинизации гипербазитов их  $\sigma$  снижается в среднем в 1,3 раза. У руд  $\sigma$  изменяется в пределах 1,83–3,36 г/см<sup>3</sup>, причем увеличение плотности в основном обусловлено присутствием реликтов дунитов и пироксенитов, а также наличием магнетита и хромита [36]. Апогипербазитовые, повышено ожелезненные руды обладают несколько большей  $\sigma$ , чем апокарбонатные. У собственно хризотил-асбеста (минерала) плотность варьирует от 2,03 до 2,71 г/см<sup>3</sup>.

Серпентиниты обладают высокими значениями магнитной восприимчивости  $k = 0,001–0,1$  ед. СИ (на Саянском месторождении  $k_{ср}$  этих пород порядка  $4100 \cdot 10^{-5}$  ед. СИ). Слабосерпентинизированные ультрабазиты, как правило, менее магнитны, а их первичномагматические аналоги практически немагнитны. Неодинаковое содержание магнетита в серпентинитах различного состава указывает на возможность расчленения отдельных их разновидностей по усредненным величинам  $k$ . У хризотил-асбеста (минерала) и его руд магнитная восприимчивость достигает 0,035–0,15 ед. СИ [36]. Вулканогенно-осадочные породы и вмещающие ультраосновные массивы обычно имеют близкие к нулю значения  $k$ . Несколько выше они у оталькованных серпентинитов и тальково-карбонатных пород.

Ультрабазиты в целом достаточно высокоомны ( $\rho$  порядка  $6 \cdot 10^3$  Ом·м и выше). У асбестоносных серпентинитов  $\rho$  обычно ниже, чем у неасбестоносных. Для руд в большинстве случаев характерны значения  $\rho$  порядка  $(3–5) \cdot 10^3$  Ом·м [36], однако эти значения часто уменьшаются в зависимости от степени серпентинизации, дезинтеграции, влажности и состава вмещающих пород. Хризотил-асбест (минерал) обладает высокими значениями  $\rho = 10^5–10^6$  Ом·м.

На Баженовском месторождении для основных типов асбестоносности установлены зависимости между  $\rho$  пород и содержанием в них асбеста (у наиболее асбестоносных пород  $\rho \approx 80 \div 200$  Ом·м). Диэлектрическая проницаемость  $\epsilon$  увеличивается от слабосерпентинизированных образований (6,4–15,3) к собственно серпентинитам (6,8–25,6). Неизменные ультрабазиты обычно характеризуются незначительными величинами поляризуемости  $\eta$ , а у их серпентинизированных разновидностей с повышенным содержанием магнетита, по В.А. Комарову,  $\eta$  достигает 14 %.

Неразрушенные ультрабазиты обладают достаточно высокими значениями скоростей поперечных и продольных волн  $v_p$  и  $v_s$  — 7—8,5 и 3,5—4,3 км/с. Серпентиниты и их асбестоносные разности характеризуются более низкими значениями  $v_p$  — порядка 4—4,5 км/с. По сравнению с неизменными и измененными ультрабазитами значения  $v$  во вмещающих вулканогенно-осадочных толщах обычно ниже [36].

По величинам  $I_\gamma$  продуктивные и вмещающие образования практически не отличаются. Породы разных типов асбестоносности и различной сохранности различаются по влажности  $W$  в открытых порах и трещинах (на Баженовском месторождении в 4 раза и более), что предопределяет их дифференцированность по результатам НГК.

Хризотил-асбест (минерал) имеет низкий коэффициент анизотропии  $\lambda$ , а гипербазиты отличаются от вмещающих пород по теплоемкости  $c$ . Различия рассматриваемых комплексов по теплофизическим параметрам дополняются выраженностью в геотепловом поле геологических образований (поля развития серпентинитов, разломы, зоны различной тектонической мобильности и др.), с которыми они нередко связаны.

Отличны хризотил-асбестовые породы от вмещающих образований и по некоторым оптическим характеристикам. Исследования хризотил-асбеста в ультрафиолетовых лучах показали, что асбесты различной прочности отличаются по степени люминесценции. Хризотил-асбестовые руды и вмещающие образования имеют неодинаковые физико-механические свойства — твердость, пористость, степень разрушаемости при бурении. Пересечения скважинами линз, жил и штоков асбеста отмечаются уменьшением продолжительности бурения.

В некоторых случаях для выявления залежей хризотил-асбеста объемы поисковых геофизических работ можно представить в виде ФГМ с горизонтально и вертикально залегающими круговыми или эллипсоидными цилиндрами значительных размеров, отличающихся от вмещающих образований несколько пониженными значениями плотности, магнитной восприимчивости, электрического сопротивления. Достаточно очевидно необходимость включения в поисковый комплекс методов грави-, магнито- и электроразведки, а также использования при разведке месторождений методов ГИС: АК, КС, КМБ, ГГК.

Особенности изменения физических свойств у продуктивных и вмещающих пород, а также выраженность в ряде физических полей геологических образований, контролирующих размещение асбестоносных залежей, являются благоприятными физико-геологическими предпосылками для применения геофизических методов в отечественной и зарубежной поисково-разведочной практике [23]. Рекомендуемые комплексы геофизических исследований рассматриваются для решения основных задач с учетом существующей стадийности геологоразведочных работ (см. табл. 2).

При общем поиске месторождений геофизические методы следует применять для картирования ультраосновных массивов, а при дальнейшем опосковании таких месторождений — и для установления на площадях развития ультрабазитов тектонических нарушений и выделения участков слабосерпентинизированных пород и серпентинитов.

Эффективное решение этих и некоторых других задач обеспечивает магниторазведка. По ее данным ультрабазиты отмечаются большими значениями геомагнитного поля, а на месторождениях Бильге, Киембайское и других ядра слабосерпентинизированных пород нередко оконтуриваются значениями  $\Delta Z$ , близкими к 400 мА/м. Сильноизмененные разности ультраосновных пород (тальково-карбонатные, тальково-хлоритовые и др.) отмечаются значениями  $\Delta Z$ , промежуточными между фиксируемыми над слабоизмененными ультрабазитами и гранитоидами.

Для более однозначного решения различных задач при общем поиске магниторазведку необходимо комплексировать с электроразведкой (ВЭЗ, СЭП), что позволяет оконтуривать гипербазитовые массивы, устанавливать тектонические нарушения и выделять площади развития серпентинитов.

В ряде случаев (сложный рельеф земной поверхности, ограниченность сведений о  $k$  и  $\rho$  пород разреза, значительная мощность коры выветривания, четвертичных образований и др.) необходима постановка и гравиметровой съемки масштаба 1:25 000, реже и крупнее. По материалам гравиметрической и магниторазведки выполняется площадное картирование ультраосновных пород, уточняются особенности их распространения на глубину и оцениваются перспективы промышленной хризотил-асбестоносности, поиски которой целесообразны на массивах с вертикальной мощностью не менее 300 м. В пределах ультраосновных массивов Урала достаточная однородность гравимагнитных полей свидетельствует, как правило, об отсутствии крупных тектонических нарушений, а соответственно и о малой вероятности наличия крупных залежей хризотил-асбеста.

При детальном поиске геофизические работы в основном должны выполняться методами магнито- и электроразведки (СЭП, ВЭЗ), отмечающими залежи хризотил-асбеста и серпентиниты повышенными (до нескольких тысяч мА/м) значениями  $\Delta Z$  и пониженными относительно неасбестоносных серпентинитов  $\rho_k$ . Для проверки получаемых аномалий необходимо проводить электроразведку методом ВП в модификации среднего градиента с величиной разносов АВ до 2000—3000 м, что позволяет более однозначно выделять зоны серпентинизации и изучать особенности их строения. В СССР и за рубежом детальное опосредованное опосредованное выполняется после аэро- и наземных магнитометрических съемок, что обеспечивает сокращение объемов, сроков и стоимости общего комплекса поисково-разведочных работ. Уточнение особенностей строения и определения элементов залегания залежей, особенно на глубинах десятки и сотни метров, нужно выполнять с привлечением данных высокоточной гравиметровой съемки.

При детальном поиске на перспективных участках, особенно в пределах "слепых" залежей, следует проводить ГИС (КС, КМВ, ГК и др.), материалы которых позволяют расчленять геологические разрезы и оценивать характер распространения оруденения на глубину. В районе Баженовского месторождения при детальном поиске успешно используется АК, обеспечивающий расчленение разреза по упругим свойствам пород.

При поисково-оценочных работах геофизические методы необходимо применять для решения задач, связанных с картированием асбестоносных

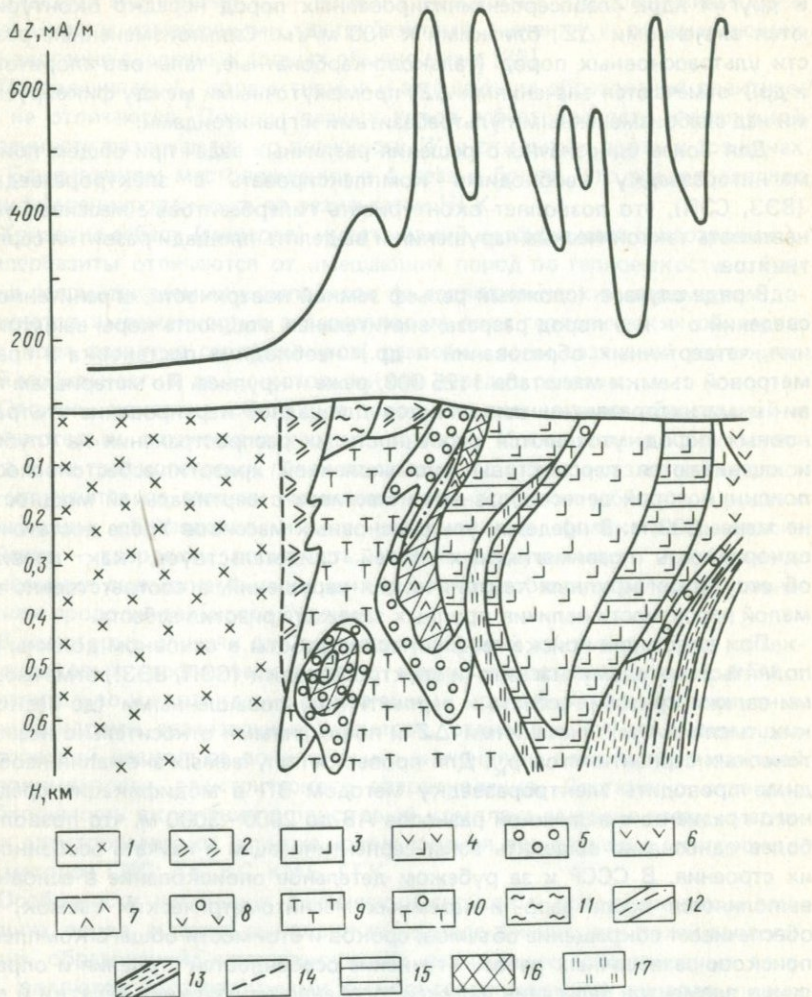


Рис. 5. Геолого-геофизический разрез на Баженовском месторождении (по И.Ф. Николаеву и др).

Габбро (сосюритовое): 1 — амфиболитизированное, 2 — нормальное; гарцбургиты, серпентинизированные на (в %); 3 — 30–70, 4 — 70–95; серпентиниты: 5 — лизардитовые, 6 — хризотилитовые, 7 — антигоритовые, 8 — лизардит-антигоритовые; 9 — тальково-карбонатные породы; 10 — серпентиниты (оталькованные); 11 — клинопироксениты; зоны: 12 — дробления, 13 — расланцевания; 14 — тектонические нарушения; асбестоносность типа: 15 — простых и сложноотороченных жил, 16 — сетчатого, 17 — мелкопрожила

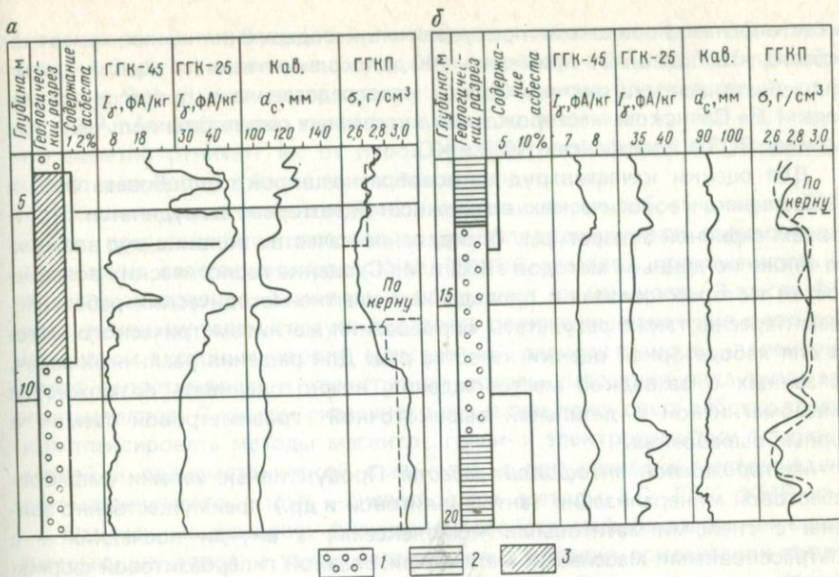


Рис. 6. Результаты ГИС по скв. 4029 (а) и 4078 (б) Баженовского месторождения (по Ю.Б. Давыдову и В.П. Бакаеву).

1 — перидотиты; серпентиниты с асбестоносностью типа: 2 — отороченных жил, 3 — крупной сетки

залежей на глубину (см. табл. 2). При этом возрастает роль методов КС, КМВ, ГГК и др. Целесообразно опробовать и ТМС, ДК, ВИК, ВП, а также в комплексе с ГИС желательнее проводить ВЭЗ-ВП.

При поисково-оценочных работах нужны детальные и высокоточные магнитометрические съемки, обеспечивающие изучение особенностей геологического строения хризотил-асбестоносных разрезов на глубину (рис. 5). Решение этих задач иногда осуществляется и электроразведкой (ВП, СЭП и др.). Так, при изучении хризотил-асбестоносных залежей на Хоккайдо использованы методы сопротивления и естественного поля.

При предварительной и детальной разведке месторождений геофизические методы, в основном ГИС (КС, КМВ, ГГК и др.), рекомендуется применять для решения задач (см. табл. 2), связанных с расчленением геологических разрезов, оценкой запасов и качества руд. При расчленении геологических разрезов и выделении продуктивных горизонтов наиболее информативны ГГКП в комплексе с Кав. [14], а также СГГК, НГК и КМВ (рис. 6).

Оценку запасов продуктивных толщ и качества руд целесообразно выполнять, как показали в 1976 г. В.Н. Мишкевич, В.П. Бакаев, Е.С. Косых, с широким привлечением ГИС и особенно ЭК. На ряде участков Баженовского месторождения установлено уменьшение сопротивления пород

асбестоносных горизонтов при увеличении содержания в них хризотил-асбеста, что позволяет применять ЭК для количественных оценок хризотил-асбестоносности рудных блоков непосредственно в процессе их разведки. На Саянском месторождении интересные результаты получены при помощи РСЗ в комплексе с КМВ и КС.

Для оценки качества руд целесообразно широко опробовать ФКС и СКС, оценка геологических возможностей которых затрудняется отсутствием серийной аппаратуры. Определение качества волокна руд возможно также по данным методов ЛКШ и МКС, оценка геологических возможностей которых связана с проведением опытно-методических работ. Небезынтересны также результаты опробования магнитометрического метода для лабораторной оценки качества руд. Для решения различных задач, связанных с разведкой месторождения, нужно оценивать возможности микромагнитной и детальной высокоточной гравиметровой съемок в горных выработках.

*Месторождения антофиллит-асбеста.* Продуктивные залежи амфибол-асбестовой минерализации (антофиллитовой и др.) преимущественно связаны с гнейс-мигматитовыми комплексами, а внутри последних — с ультраосновными массивами метаморфизованной гипербазитовой формации. Породы этих комплексов представлены мигматизированными гранат-содержащими биотитовыми и двуслюдяными гнейсами, гранитогнейсами, амфиболитами. Ультрабазиты залегают среди гнейсов в виде будинированных тел размерами до 500—1000 м и более, группирующихся в линейно вытянутые полосы. Размеры продуктивных залежей изменяются от единиц до 150—200 м при мощности единицы — первые десятки метров.

Породы продуктивных толщ рассматриваемых месторождений претерпели глубокий региональный метаморфизм, из-за чего их  $\sigma$  изменяется в относительно широких пределах. Собственно антофиллит-асбест в общем случае является наименее плотным, и его  $\sigma$  на Бугетьсайском месторождении варьирует от 2,12 до 2,50 г/см<sup>3</sup> при разбросе величин  $\sigma$  у серпентинитов от 2,49 до 2,96 г/см<sup>3</sup>, а во вмещающих породах (гнейсах, гранитогнейсах, амфиболитах)  $\sigma$  изменяется от 2,55—2,80 до 3,01—3,13 г/см<sup>3</sup>.

Продуктивные толщи месторождений в целом представлены слабомагнитными образованиями. На Бугетьсайском месторождении  $k$  антофиллит-асбеста порядка  $(6-6,3) \cdot 10^{-5}$  ед. СИ, в серпентинитах она изменяется от  $(16 \text{ до } 5200) \cdot 10^{-5}$  ед. СИ при высоких значениях  $k$  у реликтов серпентинитов зеленосланцевой фации метаморфизма. Вмещающие породы характеризуются относительно небольшими величинами  $k = (19 \div 215) \times 10^{-5}$  ед. СИ. На ряде месторождений вмещающие гнейсы, амфиболиты и граниты часто обогащены магнетитом и их магнитная восприимчивость в таких случаях достигает  $(380-1260) \cdot 10^{-5}$  ед. СИ и более. Параметр  $l_{\gamma}$  у антофиллит-асбестовых пород обычно незначителен (0,2—0,4 пА/кг), а у вмещающих пород, особенно у гранитоидов, он, как правило, выше (0,7—1,0 пА/кг и более).

Относительно вмещающих пород продуктивные залежи Савелькульского месторождения отмечаются пониженными значениями  $\rho_k$  [30].

На месторождении Бугетысай  $\epsilon$  антофиллит-асбеста порядка 7,5, а гранитов — 4,8—9,0. Увеличение содержания амфибола с 21,4 до 90 % приводит, согласно Э.И. Пархоменко, к росту  $\epsilon$  амфиболитов соответственно от 5,5 до 13,7. Амфиболиты характеризуются значениями  $v_p$  7,0—7,1 км/с, что заметно отличает их от пород гранулитовой фации метаморфизма, характеризующихся более высокими значениями  $v_p$ .

Объекты поисково-разведочных геофизических работ на антофиллит-асбест представляется целесообразным аппроксимировать горизонтально и наклонно залегающими пластами (серией пластов), протяженность которых, как правило, значительно превышает их мощность. В таких ФГМ продуктивным телам следует придавать пониженные значения плотности, магнитной восприимчивости, естественной радиоактивности и электрического сопротивления и характерные ореолы рассеяния ряда типоморфных металлов. С учетом сказанного выше при поисковых работах следует комплексировать методы магнито-, грави- и электроразведки с геохимической и радиометрической съемками, а при разведке месторождений рассматриваемого сырья — использовать методы КС, ГГК, КМВ и др.

Отмеченные различия физических свойств амфибол-асбестоносных и вмещающих пород, а также геологические условия локализации продуктивных оруденений в ряде случаев являются благоприятными физико-геологическими предпосылками для решения геофизическими методами геологических задач, в частности, при поисках и разведке месторождений антофиллит-асбеста [2].

При опосковании этих месторождений особенности применения геофизических методов более тесно, чем при выявлении хризотил-асбестовых залежей, связаны с детальностью работ на отдельных подстадиях, что в немалой степени обусловлено спецификой размещения и локализации антофиллит-асбестового оруденения, продуктивные толщи которого обычно имеют незначительные размеры.

Общий поиск месторождений антофиллит-асбеста, так же как и хризотил-асбеста, рекомендуется преимущественно выполнять методами магнито- и гравиразведки (см. табл. 2), но в более крупном (1:25 000—1:10 000) масштабе (рис. 7). В связи с относительно слабой дифференциацией антофиллит-асбестоносных и вмещающих образований по  $k$  магниторазведку нужно проводить высокоточной аппаратурой (М-33 и др.) с введением поправок за вариации геомагнитного поля. Необходима высокая точность и гравиметровых съемок с введением соответствующих поправок за влияния плотностных и гипсометрических неоднородностей по вертикали и латерали изучаемых разрезов и др. Необходимо опробовать метод ССП-МПВ, некоторые методические особенности которого разработаны во ВНИИГеолнеруде.

Выбор площадей для постановки грави- и магнитометрических съемок целесообразно выполнять с учетом более простой и дешевой в проведении ЛГС. По данным последней нередко выявляются участки и зоны повышенных концентраций типоморфных для гипербазитов Ni, Co, Cr и специфичных для антофиллит-асбестоносных районов Mo или Zn. Перспективность участков на поиск антофиллит-асбестовых залежей возрастает при совпа-

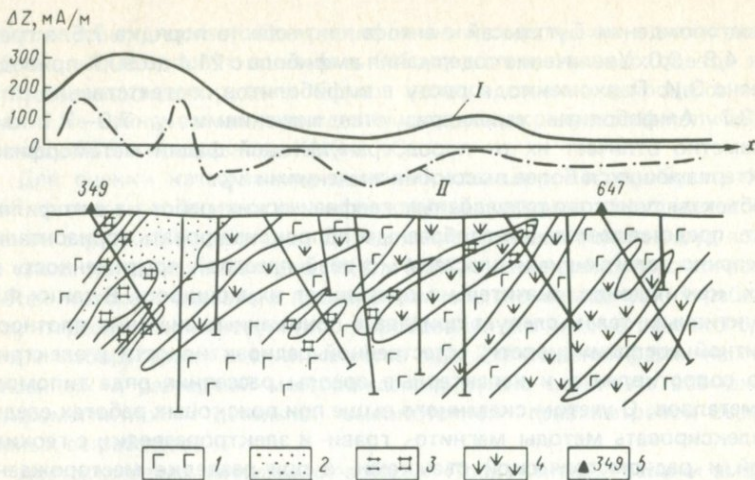


Рис. 7. Результаты геолого-геофизических исследований в Сысертском антофиллит-асбестоносном районе (по В.С. Костиной и И.В. Борецкому).

Кривые  $\Delta Z$ : I — наблюдаемая, II — пересчитанная на глубину 20 м; 1 — гранитогнейсы; 2 — серпентинизированные перидотиты; 3 — тальково-карбонатные и хлорито-актинолитовые породы; 4 — антофиллит-асбест; 5 — скважины

дении геохимических аномалий с зонами спокойного малоинтенсивного знакопеременного поля  $\Delta Z$ .

При детальном поиске из геофизических методов рекомендуется в основном применять магниторазведку (см. табл. 2), комплексирование которой с ЛГС [обычно по сети  $(25-50) \times 10$  м] оказалось весьма результативным в районе Бугетысайского месторождения. Ряд залежей антофиллит-асбеста приурочен к градиентным зонам слабоинтенсивного и знакопеременного поля  $\Delta Z$  на контакте пород, различных по  $k$  и составу. При детальном картировании перспективных площадей с выделением в их пределах серпентинитов, амфиболитов и других пород под чехлом осадочных образований порядка 10 м рекомендуется проводить высокоточную ( $\pm 1,2$  мА/м) магнитометрическую съемку по сети  $(25-50) \times (5-10)$  м, а также детальную высокоточную ( $\pm 5$  мкН/кг) гравиразведку по сети  $50 \times 10$  м.

Все сравнительно крупные залежи антофиллит-асбеста обычно приурочены к зонам пониженного поля  $\Delta g$  и отмечаются локальными отрицательными аномалиями  $\Delta g$ . Нередко крупные и выходящие на земную поверхность залежи фиксируются по данным электроразведки (СЭП и МСГ) минимумами  $\rho_k$ . Электроразведочные работы СЭП рекомендуется проводить с разносами  $AB = 120 \div 500$  м и  $MN = 10$  м, с шагом порядка 5–10 м (то же и для МСГ). Геофизические работы различными методами электропрофилирования наиболее результативно выполнены на Савелькульском и Бугетысайском месторождениях.

Для изучения строения и распространения залежей антофиллит-асбеста на глубину рекомендуется использовать преимущественно ГИС (ГК и др.) и гамма-прослушивание горных выработок, которые нередко позволяют устанавливать контакты антофиллит-асбестоносных пород с гранитоидами. В некоторых случаях эта задача решается и по материалам радиометрических съемок. С учетом дифференцированности по упругим свойствам антофиллит-асбестоносных и вмещающих пород следует также опробовать ГИС в модификации АК.

При поисково-оценочных работах на антофиллит-асбестовых месторождениях и проявлениях необходимо шире использовать (см. табл. 2) ГИС (КС, ДК, ВИК и АК), а также методы электропрофилирования.

При предварительной и детальной разведке месторождений антофиллит-асбеста геофизические методы не использовались, но исходя из физико-геологических предпосылок следует рекомендовать (см. табл. 2) проведение опытных ГИС в модификации ФКС, который может обеспечить решение задач, аналогичных тем, что возникают при разведке хризотил-асбестовых месторождений.

## БАРИТ И ВИТЕРИТ

Рассматриваемые минералы являются основными природными барий-содержащими соединениями, из которых барит ( $BaSO_4$ ) распространен и используется значительно шире, чем виверит ( $BaCO_3$ ). Высокая плотность, белизна, химическая инертность, способность значительного ослабления рентгеновского излучения, а также пьезооптичность прозрачных кристаллов барита и токсичность виверита определяют многообразие областей применения данных видов сырья (нефтегазодобывающая, химическая, лакокрасочная, бумажная отрасли промышленности, медицина и др.).

Основными генетическими типами баритовых месторождений являются (по Г.Г. Ахманову и др.): гидротермальный, вулканогенно-осадочный, осадочный и выветривания. Наиболее широко распространены месторождения первых двух типов с пласто-, линзо-, жило-, штоко- и гнездообразными формами рудных тел. Залежи осадочного барита обычно представлены пластами, линзами и гнездообразной вкрапленностью в осадочных породах. Рудные тела месторождений первых двух типов обычно приурочены к зонам тектонических нарушений в осадочных, метаморфических и магматических породах. Крупные пластообразные залежи осадочного барита также нередко контролируются разломными нарушениями. При разрушении коренных залежей барита в ряде случаев образуются месторождения типа выветривания, подразделяющиеся на остаточные и инфильтрационные; последние весьма редки из-за слабой растворимости барита и его химической инертности.

На месторождениях отмеченных генетических типов продуктивные толщи представлены мономинеральными баритовыми (виверитовыми) породами и комплексными барит-виверит-полиметаллическими рудами. Собственно виверитовые залежи встречаются сравнительно редко и обычно приурочены к зонам метасоматического замещения барита.

Барит-витеритовые породы от вмещающих образований отличаются прежде всего повышенными значениями плотности. В зависимости от степени сохранности баритовые руды характеризуются величинами  $\sigma$  от 2,7 — 3,0 до 4,3—4,6 г/см<sup>3</sup> и пористостью от 0,5 до 5%, а вмещающие терригенно-карбонатные породы соответственно — 2,4—2,8 г/см<sup>3</sup> и 10—11,5%. Относительно вмещающих пород избыточная плотность  $\Delta\sigma$  барита нередко достигает 1,5—2,0 г/см<sup>3</sup>. Так, по данным А.А. Пацкова (1977 г.), среднее значение плотности  $\sigma_{\text{ср}}$  барита на Кужинском месторождении порядка 4,4 г/см<sup>3</sup>, терригенных пород 2,6—2,7 г/см<sup>3</sup>, а карбонатов 2,8—2,9 г/см<sup>3</sup>. Баритизированные разности кварцитов здесь имеют  $\sigma$  порядка 3,0—3,5 г/см<sup>3</sup>, обладая  $\Delta\sigma$  относительно вмещающих кварцитов около 0,4 — 0,85 г/см<sup>3</sup>.

Мономинеральные баритовые и барит-витеритовые породы достаточно высокоомны —  $10^3$ — $10^6$  Ом·м и более [23]. Сопротивление комплексных руд из-за присутствия минералов с электронной проводимостью обычно более низкое. Барит-витеритовые образования, как показано в 1974 г. Г.П. Новицким, практически немагнитны и нерадиоактивны, но по сравнению с вмещающими породами обладают повышенной способностью поглощения  $\gamma$ -квантов.

Таким образом, в большинстве случаев для геофизических исследований на барит и барит-витеритовые образования объекты поисково-разведочных работ можно аппроксимировать ФГМ в виде бесконечных или ограниченных по простиранию и на глубину субгоризонтально, вертикально и наклонно залегающих пластов различной мощности. Такие пласты отличны от вмещающих пород положительной избыточной плотностью, повышенным (собственно барит и барит-витеритовые отложения) или пониженным (барит-полиметаллическое оруденение) электрическим сопротивлением, способностью поглощения  $\gamma$ -квантов; кроме того, слагающие эти пласты породы нужно рассматривать как немагнитные, нерадиоактивные и обрاملенные ореолами рассеяния Ва. С учетом сказанного выше при поисково-разведочных работах следует использовать гравиразведку, различные модификации электроразведки методом сопротивления в комплексе с литогеохимической съемкой при ограниченном привлечении градиентометрии, магниторазведки и радиометрии. При разведке баритовых и барит-витеритовых залежей целесообразно включать в комплекс геофизических исследований электро- и радиоактивный каротаж (см. табл. 2).

Дифференциация физических свойств рассматриваемых пород относительно вмещающих, а также характер залегания и геологического строения продуктивных толщ в целом благоприятствуют использованию геофизических методов при геологоразведочных работах. Опыт отечественных и зарубежных исследований [23, 40] свидетельствует от том, что обоснованное применение геофизики и рациональное комплексирование ее с геологическими методами обеспечивают решение разнообразных геологических задач. Рекомендуемые комплексы геофизических исследований (см. табл. 2) рассматриваются нами для решения ряда задач на отдельных стадиях геологоразведочных работ.

Геофизические методы, в первую очередь грави-, электроразведку (СЭП, ДЭП, МСГ, ВЭЗ) и литогеохимическую съемку, целесообразно применять для поиска и оконтуривания продуктивных толщ и ореолов рассеяния бария (см. табл. 2). Для уточнения особенностей геологического строения перспективных площадей и выявленных месторождений необходимо шире использовать данные магниторазведки. Целесообразна постановка и градиентометрической съемки, успешно опробованной на баритовых месторождениях Польши при поисках маломощных (до 1 м) продуктивных жил на глубинах 6—19 м.

На Пицикварском месторождении (Грузия) выявление площадей с баритовым оруденением и отдельных баритовых жил осуществлялось электроразведкой по сети  $100 \times 10$  м с установками СЭП ( $AB = 120$  м) и ДЭП ( $A'A = 40$  м,  $MN = 10$  м,  $AM = 60$  м) в комплексе с литогеохимической съемкой. Последняя проводилась по сети  $100 \times 20$  м при отборе проб с глубин 0,3—0,4 м.

Поисковые работы в районе Кужинского месторождения проведены с использованием гравиразведки масштаба 1:10 000 и литогеохимической съемки, а также электроразведки СЭП и ВЭЗ. Баритовые тела залегают здесь согласно с вмещающими породами и приурочены к кварцевым песчаникам. По Р.С. Казакову (1971 г.), рудные тела с богатым содержанием барита имеют мощность порядка 20 м, с бедным — свыше 50 м. По литогеохимическим данным выявлены ореолы рассеяния бария с содержанием его в эпицентрах аномалий более 1%, а методом СЭП — пачки кварцевых песчаников среди сланцевых толщ (рис. 8). Гравиразведкой достаточно уверенно установлено местоположение баритовых тел, над которыми при их мощности около 5 м аномалии  $\Delta g$  имеют интенсивность порядка 5—6 усл. ед., а при мощности 2,5—3,0 м — 2—4 усл. ед. (рис. 9). Над пологозалегающими продуктивными жилами интенсивность аномалий  $\Delta g$  обычно уменьшается, а их эпицентр смещается в сторону падения жил.

Пластообразная залежь Медведевского месторождения (Челябинская обл.) длиной более 3 км и мощностью от 4 до 10 м приурочена к кварц-карбонатным, слюдисто-карбонатным породам и их хлоритизированным разновидностям. Оконтуривание баритоносного пласта с вкрапленностью серного колчедана и выявление участков, перспективных для оплоискования новых продуктивных зон, осуществлялось здесь электроразведкой методом изолиний. При этом установлен ряд аномалий проводимости, последующее уточнение которых показало их преимущественную приуроченность к баритовой залежи.

Картирование баритоносного горизонта и вмещающих пород, а также оценка мощности рыхлых отложений Пальникского месторождения (Коми АССР) проведены по сети  $(250-500) \times (25-50)$  м методами грави-, магнито- и электроразведки. Гравиметрическая съемка по достаточно четко прослеживаемым от профиля к профилю максимумам  $\Delta g$  обеспечила картирование продуктивного пласта и определение элементов его залегания. Совместная интерпретация результатов грави- и магниторазведки позволила уточнить некоторые особенности геологического строения месторождения. По данным МСГ повышенными значениями  $\rho_k$  отмечены

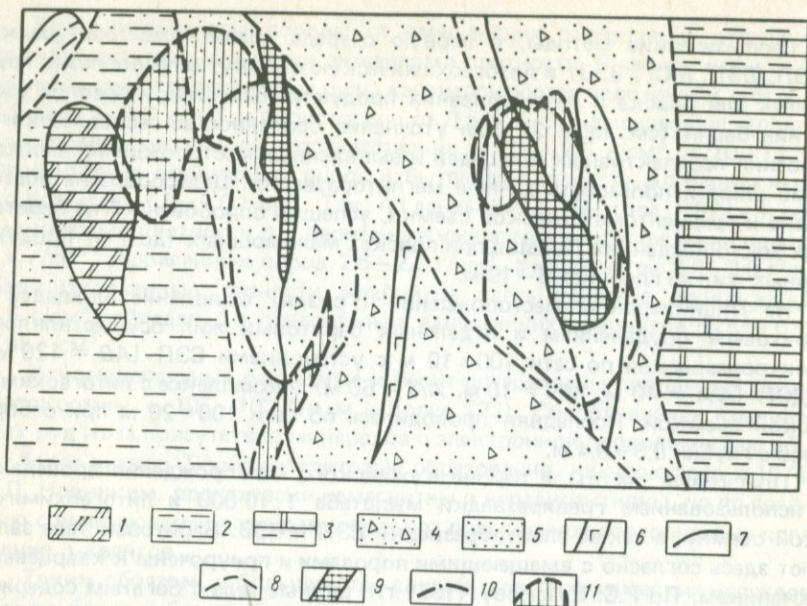


Рис. 8. Результаты геофизических и геохимических работ в районе Кузнецкого месторождения (по А.А. Пацкову).

1 — доломиты миньярской свиты; 2 — алевролиты, песчаники, сланцы инзерской свиты; 3 — нерасчлененные терригенно-карбонатные образования катавской и инзерской свит; 4 — терригенные образования бедерышинской подсвиты; 5 — кварцевые песчаники лемезинской подсвиты (по данным СЭП); 6 — щелочные диабазы; 7 — литолого-стратиграфические границы; 8 — тектонические нарушения; 9 — залежи баритовых руд; 10 — положительные локальные аномалии  $\Delta g$ ; 11 — геохимические аномалии Ва (более 1%)

участки развития глинисто-кремнистых сланцев, в основании которых залегает баритонесный горизонт. По результатам ВЗЗ определены глубины залегания коренных пород.

Выделение продуктивной барит-полиметаллической залежи Кузнецкого месторождения (Грузия) осуществлялось методами ЕП и ЭС, отметившими над нею аномалию ЕП интенсивностью более 100 мВ и повышенные концентрации торона. Эти методы, обеспечивающие установление зон развития полиметаллов и контролируемые их тектонические нарушения, заслуживают опробования и на других месторождениях комплексных руд. Такое опробование небезынтересно дополнить и исследованиями по изучению связей собственно баритонесных образований и тяготеющих к ним различных видов полиметаллического оруденения.

Геофизические исследования, в целом сходные с вышерассмотренными, проведены также при поисках баритовых и барит-витеритовых залежей в Казахстане, Туркмении, Тувинской АССР и некоторых других рай-

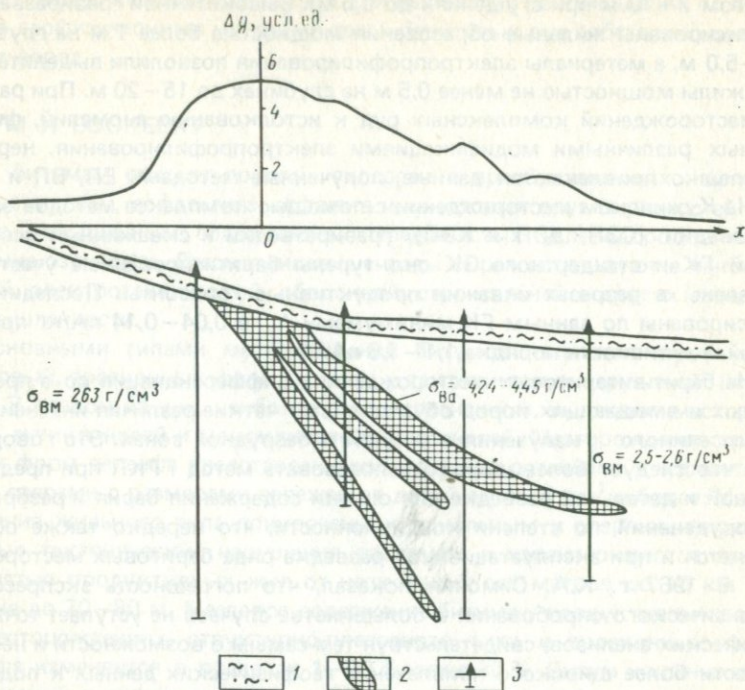


Рис. 9. Результаты гравиметрической разведки над продуктивными образованиями Кужинского месторождения и плотностная характеристика баритовых и вмещающих пород (по А.А. Пацкову).

1 — четвертичные отложения; 2 — залежи баритовых руд; 3 — скважины

онах. При этом методические особенности применения отдельных методов и их комплексирования, а также интерпретации полученных данных нередко конкретизировались в зависимости от характера геологического строения опрашиваемых площадей. Так, неглубокозалегающие жилы барита в неизменных породах обычно отмечаются локальными максимумами  $\Delta g$ , которые над жилами, приуроченными к участкам разуплотнения пород в зонах тектонических нарушений, нередко "затушеваны" более протяженными минимумами  $\Delta g$ .

При предварительной и детальной разведке для выделения отдельных продуктивных тел (пласты, линзы, жилы и т.д.) и определения элементов их залегания используются в основном электроразведка и высокоточная гравиметрическая (см. табл. 2), но с увеличением детальности и точности исследований по сравнению с такими же работами на поисковых подстанциях. Так, на барит-витеритовых месторождениях Елы-Су и Чур-Чури (Туркмения) эта задача решалась путем комплексирования электроразведки (СЭП, ДЭП и КЭП с разносами  $AB$  от 30 до 200 м при шаге и разносах  $MN$ , равных 2—10 м) с гравиметрической (профильные наблюдения

с шагом 2—10 м при сгущениях до 0,5 м). Высокоточной гравиразведкой зафиксированы жильные образования мощностью более 1 м на глубинах 0,5—5,0 м, а материалы электропрофилирования позволили выделить рудные жилы мощностью не менее 0,5 м на глубинах до 15—20 м. При разведке месторождений комплексных руд к истолкованию аномалий, фиксируемых различными модификациями электропрофилирования, нередко и успешно привлекаются данные, полученные методами ЕП, ВП и РВП.

На Кужинском месторождении с помощью комплекса методов электроразведки (СЭП, ДЭП и КЭП), гравиразведки и скважинных исследований ГК и стандартного ЭК оконтурены баритизированные участки и выделены в разрезах скважин продуктивные горизонты. Последние зафиксированы по данным ГК минимумами  $I_\gamma$  в 0,04—0,14 пА/кг при фоновой  $\gamma$ -активности порядка 1,1—1,6 пА/кг.

На барит-витеритовых месторождениях дифференциация по  $\sigma$  продуктивных и вмещающих пород обуславливает четкие различия интенсивности рассеянного  $\gamma$ -излучения в рудной и безрудной зонах. Это говорит о том, что следует более широко использовать метод ГГКП при предварительной и детальной разведке для оценки содержания бария и разбраковки оруденений по степени кондиционности, что нередко также осуществляется и при эксплуатационной разведке ряда баритовых месторождений. В 1967 г. К.А. Симония показал, что погрешность экспрессного геофизического опробования в большинстве случаев не уступает точности химических анализов, свидетельствуя тем самым о возможности и необходимости более широкого привлечения геофизических данных к подсчету запасов.

При изучении горных пород, разрезов скважин, порошковых проб, руд и продуктов их обогащения оценка содержания бария (в комплексных рудах одновременно и отдельно с ним свинца, цинка, меди и др.) в ряде случаев успешно выполняется и другими модификациями ядерно-геофизических исследований: РРК и ГО [23]. В ПГО Красноярскгеология по данным ядерно-геофизических исследований оцениваются и невысокие (менее 30 %) содержания Ва в рудах. Высокая эффективность РРК позволяет рекомендовать его применение не только при разведке, но и при поиске баритоносных образований. С учетом отличий барита от вмещающих пород не только по  $\sigma$ , но и по сечению захвата нейтронов перспективным представляется опробование нейтронных и нейтронно-активационных методов.

При разведке баритовых и барит-витеритовых месторождений радиоактивный каротаж целесообразно дополнять электрическим. Последний при изучении мономинеральных залежей, по-видимому, достаточно выполнять стандартным комплексом методов, а при разведке комплексных руд к нему нужно добавлять ГИС методами ВП и ТК, которые опробованы на Маднеульском месторождении.

Рекомендации по проведению и комплексированию геофизических исследований (см. табл. 2) недостаточно конкретизированы для поиска и разведки месторождений мономинеральных и комплексных руд, что возможно лишь после проведения соответствующих опытно-методических

работ. Последние целесообразны и для выработки рекомендаций по выделению геофизическими методами среди баритовых руд собственно витеритовых пород.

## БИТУМ И ОЗОКЕРИТ

К битумам относят группу гипергенно преобразованных нефтей в составе мальты, асфальтита, асфальта и некоторых других разновидностей. Битум с повышенным содержанием парафинистых углеводородов носит название озокерита. Рассматриваемые виды сырья используют в лакокрасочной, электротехнической, оборонной, строительной и других отраслях промышленности.

Основными типами месторождений битумов являются структурно-пластовый, эрозионных форм рельефа и тектонических нарушений (жильный). В первом из них, наиболее распространенном, выделяют месторождения антиклиналей и моноклиналей-синклиналей. Месторождения эрозионных форм рельефа представлены эрозионными останцами и асфальтитовыми озерами с размерами залежей от долей до 4–5 км<sup>2</sup> и более. Месторождения жильного типа приурочены к локальным и опоряющим региональные тектонические нарушения разломам и характеризуются протяженностью продуктивных жил от нескольких сот метров до 10 км при ширине до 70–80 м. Массовое содержание битума у продуктивных пород на месторождениях структурно-пластового типа и эрозионных форм рельефа изменяется в пределах 1–20 %, реже 30 %. Битум жильных месторождений и асфальтитовых озер содержит незначительное количество примесей.

Месторождения озокерита подразделяются на два типа, к первому относят представленные крутопадающими пластами первичные залежи, ко второму — жилы, гнезда, апофизы и лепы. По морфологии и размерам залежи обоих типов сопоставимы с жильными месторождениями битумов. Массовое содержание озокерита в породах продуктивных толщ, наиболее часто представленных жильными образованиями, варьирует в пределах 1–5 %.

Геофизические исследования при поисках этого типа сырья, начиная с общепроисловых, несколько специфичны в зависимости от различной структурно-литологической приуроченности продуктивных залежей. Так, для месторождений битумов структурно-пластового типа характерна связь залежей подтипа антиклиналей с замковыми частями положительных структур второго и третьего порядков, а для залежей подтипа моноклиналей-синклиналей — с участками выклинивания пластов и разрывными нарушениями на склонах структур первого и второго порядков. Асфальтитовые озера, как правило, тяготеют к локальным отрицательным формам эрозионного рельефа, а жильные образования битумов — к локальным разломам на положительных структурах второго и третьего порядков, которые нередко являются опоряющими к более крупным региональным разломам. Отмеченные структурные особенности опознаваемых площадей, нередко контролирующее размещение продуктивных

ных толщ, в ряде случаев выявляются по ранее полученным на таких площадях геофизическим материалам, а при недостатке последних — путем проведения целенаправленных геофизических работ с учетом решающей способности отдельных геофизических методов и дифференцированности по физическим свойствам пород изучаемых разрезов.

В осадочных разрезах карбонатно-сульфатные комплексы пород по сравнению с терригенными обладают повышенными значениями параметров  $\sigma$ ,  $\nu$  и  $\rho$  [36], что нередко благоприятствует изучению структурных особенностей таких разрезов, перспективных на рассматриваемые виды сырья, соответствующими геофизическими методами. Для выяснения структурных особенностей разрезов, в основном представленных терригенными образованиями, целесообразно комплексировать грави- и сейсморазведку, так как значения  $\sigma$  для терригенных пород возрастают с глубиной, а величины волнового сопротивления у пластов песчаников и глин существенно различаются. Если проведение сейсморазведочных работ невозможно, что в большинстве случаев следует комплексировать грави- и электроразведку.

Гравиметрическую съемку масштаба 1:25 000 или 1:10 000 рекомендуется проводить с плотностью наблюдений не менее 12—80 пунктов на 1 км<sup>2</sup> площади для построения карт  $\Delta g$  сечением не более 2,5 мкН/кг, что, как правило, обеспечивает выявление структур третьего порядка и их моноклиальных склонов. Сейсморазведку (МОВ, КМПВ) следует выполнять с учетом результатов предшествующей гравиметровой съемки для подтверждения намеченных ею локальных структур, а также для обнаружения на моноклиальных склонах участков выклинивания пластов, выделения и прослеживания эрозионных поверхностей и выявления тектонических нарушений. Площадные работы МОВ целесообразно проводить при плотности наблюдений порядка 0,5—2,0 погонных км профилей на 1 км<sup>2</sup> опосредуемых площадей, а КМПВ — по отдельным профилям. В сложных сейсмогеологических условиях (орогенные области, диапировая складчатость и др.) необходимо использовать метод РНП.

При детальном опосредовании методика геофизических работ для выявления продуктивных толщ и оценки их размеров в немалой степени предопределяется различием физических свойств битумо- и озокеритосных образований относительно вмещающих пород. Установлено (табл. 3), что величины параметров  $\sigma$  и  $\nu$  у асфальтита намного меньше, чем у вмещающих осадочных пород. У асфальтита и карбонатно-сульфатных отложений значения  $\rho$  соизмеримы и на 3—4 порядка больше, чем у терригенных образований. Как и большинство вмещающих их пород, битум и озокерит обладают незначительными величинами  $I_{\gamma}$ , но из-за более высокого водородосодержания, они имеют повышенные значения  $I_{H\gamma}$ .

Для выявления жильных тел битумов и первичных залежей озокерита рекомендуется комплексировать электро- (СЭП, МСГ, КЭП) и сейсморазведку. Профили площадных электроразведочных работ следует располагать ортогонально к предполагаемому простираению продуктивных залежей и в зависимости от их ожидаемых размеров выбирать оптимальные разности питающих, особенно приемных, цепей, а также необходимую

Таблица 3. Физические свойства продуктивных и вмещающих пород [36]

Породы	$\sigma$ , г/см <sup>3</sup>		$v$ , км/с	$\rho$ , Ом·м (при минерализации вод до 3 г/л)
	Пределы изменений	Наиболее характерные значения		
Битуминозный песчаник (Шугуровское месторождение, Татарская обл.)	1,6—2,02	—	0,8—2,75	—
Асфальтит (месторождение Садки, Оренбургская обл.)	1,05—1,15	—	—	—
Глина	1,2—2,4	—	0,3—3,0	10—200
Аргиллит	1,7—2,9	2,3—2,4	0,9—4,5	20—200
Алевролит	1,8—2,8	2,3—2,5	0,8—4,0	20—200
Песчаник	2,0—2,9	2,5—2,65	0,8—4,5	30—1000
Мергель	1,5—2,8	2,3—2,4	1,3—4,5	100—1000
Известняк	1,8—2,9	2,6—2,7	1,0—5,5	200—10 <sup>5</sup>
Доломит	1,9—3,0	2,6—2,8	0,9—6,3	10 <sup>3</sup> —10 <sup>5</sup>
Гипс	2,1—2,5	2,4—2,5	1,5—4,6	10 <sup>5</sup> —10 <sup>6</sup>
Ангидрит	2,4—2,9	2,5—2,6	1,5—6,0	10 <sup>3</sup> —10 <sup>5</sup>
Каменная соль	2,15—2,3	—	4,5—5,5	10 <sup>14</sup> —10 <sup>15</sup>

плотность наблюдений конкретными установками. На участках электро-разведочных аномалий целесообразна профильная сейсморазведка по разрабатываемой ВНИИгеолнерудом (П.М. Тиханов и др.) методике ССП-МПВ. Продуктивные залежи среди карбонатно-сульфатных пород целесообразно устанавливать с помощью площадной гравиметрической съемки. Последняя должна опережать сейсморазведку ССП-МПВ и выполняться с точностью наблюдений, обеспечивающей построение карт  $\Delta g$  сечением не более 1 мкН/кг. Отмеченные и некоторые другие геофизические методы опробованы ВНИИгеолнерудом над залежью месторождения Садки. Маломощная (до 3 м) асфальтитовая жила зафиксирована сейсморазведкой (рис. 10, график  $v_{пл}$ ), а также отмечена по результатам наземной инфракрасной съемки [21]. Другими геофизическими методами выделяется суммарная аномалия, обусловленная наличием асфальтитовой жилы и обрамляющей ее зоны тектонической нарушенности (дробления пород) мощностью до 10 м (см. рис. 10).

Для поиска и разведки месторождений битума и озокерита объекты геофизических исследований представляется целесообразным аппроксимировать ФГМ в виде горизонтально и вертикально залегающих пластов различных протяженности и мощности. Относительно вмещающих пород такие пласты следует считать обладающими пониженными значениями плотности и скоростей распространения упругих колебаний и теплопроводности, незначительной естественной радиоактивностью, соразмерной или пониженной электропроводностью и повышенными величинами на-

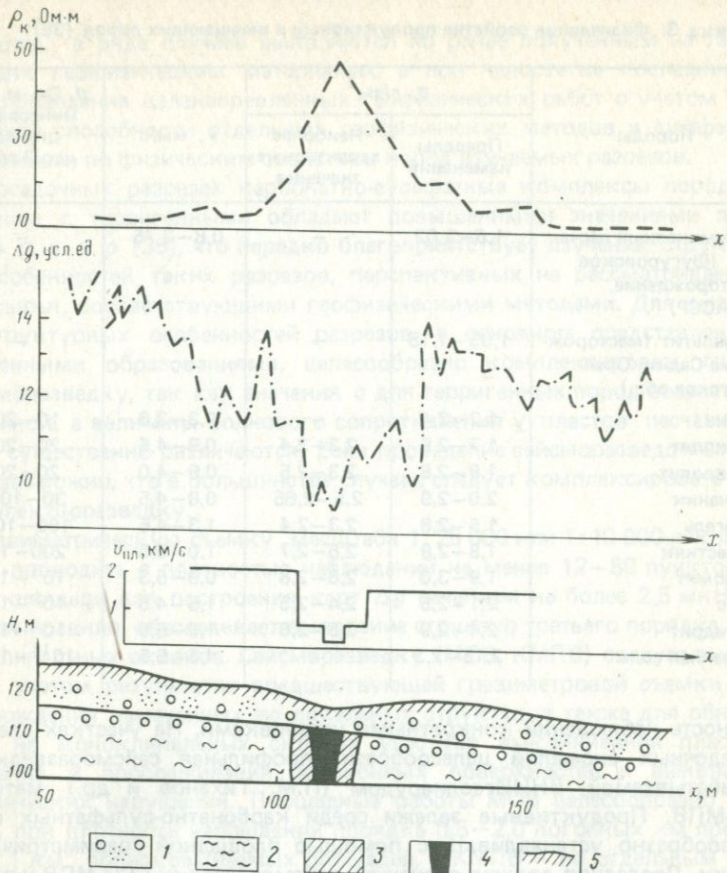


Рис. 10. Результаты геофизических работ над жилой асфальтита месторождения Садки (Оренбургская обл.).

1 — рыхлые отложения; 2 — коренные породы; 3 — зона дробления пород; 4 — жила асфальтита; 5 — земная поверхность;  $v_{пл}$  — пластовая скорость

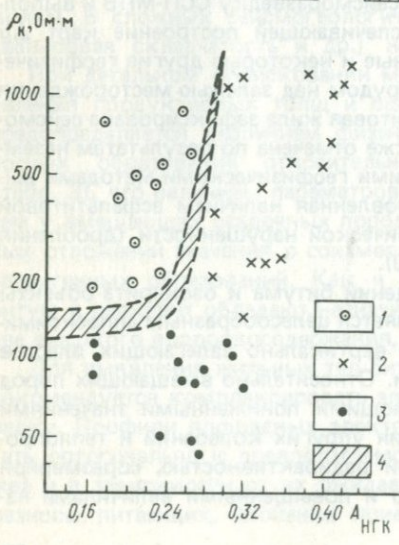


Рис. 11. Зависимость  $\rho_k$  от параметра АНГК для отдельных разновидностей песчаников (по М.З. Юсупову).

Песчаники: 1 — битуминозные, 2 — плотные, 3 — водоносные; 4 — интервал возможной неоднозначности для выделения отдельных разновидностей песчаников по ГИС

веденной  $\gamma$ -активности. Эти обстоятельства позволяют использовать при поиске рассматриваемых месторождений сейсмо-, электро-, гравиразведку и геотермию, а при разведочных работах комплексировать их с методами электрического, радиоактивного и акустического каротажа скважин.

Выявление геофизическими методами асфальтитовых озер и залежей битумов структурно-пластового типа в целом значительно труднее, чем жильных тел. При терригенных вмещающих породах для этих целей следует рекомендовать в первую очередь работы ВЭЗ, которые при общепринятой плотности наблюдений должны быть результативными при мощности залежей не менее 5 м. Не исключено, что над такими залежами можно выявить пониженные значения  $v_{пл}$  при прослеживании по данным МОВ залегающего ниже отражающего горизонта.

При поисково-оценочных работах определение мощности продуктивных залежей и оценка битумонасыщенности в основном выполняются по данным бурения, однако для решения этих задач следует шире использовать материалы ГИС. Последние в модификациях трехэлектродного БК, а также ГК наиболее целесообразны при изучении среди вмещающих терригенных пород залежей битумов жильного типа, асфальтитовых озер и жил озокерита. В тех случаях, когда выполнение БК технически затруднительно, следует проводить КС потенциал- и градиент-зондами. В большинстве случаев битумные и озокеритовые залежи отмечаются повышенными значениями  $\rho_k$  на диаграммах КС и пониженными величинами  $I_\gamma$  на кривых ГК. При карбонатно-сульфатных вмещающих породах ГИС целесообразно выполнять путем комплексирования ЭК, РК, АК и ИК. Несколько отличный комплекс ГИС рекомендуется для изучения залежей битумов структурно-пластового типа и первичных залежей озокерита. Такие продуктивные залежи среди терригенных вмещающих пород отмечаются повышенными значениями на диаграммах КС (ЭК потенциал- и градиент-зондами) и пониженными величинами на кривых НГК.

На Сулинской и Елховской площадях ТатАССР изучено изменение параметров  $\rho_k$  и  $A_{НГК}$  в зависимости от характера битумонасыщенности пермских отложений (рис. 11). Кривые ЭК получены здесь зондами В2А0,5М и М0,8А0,1В, а относительный параметр  $A_{НГК}$  находился из соотношения  $(I_{пл} - I_{гл})/I_{гл}$ , в которое по данным НГК вводились значения  $I_{Н\gamma}$ , соответствующие изучаемым пластам  $I_{пл}$  и глинам  $I_{гл}$ . Установлено, что на этих площадях для битуминозных песчаников  $\rho_k > 140 \text{ Ом}\cdot\text{м}$  и  $A_{НГК} < 0,28$ .

При предварительной и детальной разведке для определения морфологии и размеров продуктивных залежей, а также оценки их фазового состояния, битумо- и озокеритонасыщенности целесообразно более широкое комплексирование геологических и геофизических методов. Из последних для разведки месторождений битумов жильного типа, а также жил озокерита следует привлекать площадную сейсморазведку и ГИС тем же комплексом, что рекомендован для использования при поисково-оценочных работах. Решение отмеченных задач в пределах залежей битумов структурно-пластового типа и асфальтитовых озер, залегающих в терригенных разрезах, в ряде случаев возможно и по данным ГИС (БКЗ, ИК,

МК, БМК, ВДК, Рез., НК, ИНГК и Кав.) с оценкой по их материалам и кислородосодержания изучаемых пластов. Для изучения фазового состояния битумов применяется контролируемое воздействие на пласт минерализованного раствора с помощью двукратного измерения  $\rho_k$  до и после его закачки.

## БОР

В природе свободный (несвязанный) бор не встречается, он входит в различные соединения, на которых в настоящее время основными источниками получения рассматриваемого сырья являются бораты и боросиликаты. Соли бора (бориды) характеризуются жаростойкостью и повышенной твердостью, поэтому они находят широкое применение в приборостроении, радио- и авиационной технике. Бор и его соединения используются также в стекольной, керамической, бумажной, лакокрасочной, металлургической отраслях промышленности, медицине и сельском хозяйстве. Месторождения борного сырья подразделяются на две основные генетические группы: эндогенную и экзогенную. В первой выделяются известково-скарновая и магнезиально-скарновая формации, а во второй — вулканогенно- и галогенно-осадочная.

Геологической особенностью эндогенных месторождений является их приуроченность к известковым и магнезиальным скарнам и скарноидам. Локализуются такие месторождения преимущественно в зонах тектонических нарушений и особенно на участках пересечения разноориентированных разломов, а также в сводовых частях и на крыльях складок. Форма продуктивных тел обычно линзо- и пластообразная, реже неправильная. Размеры тел по простиранию достигают десятков — сотен метров, а иногда и нескольких километров при мощности от единиц и десятков до первых сотен метров [26]. Крупные месторождения известково-скарновой формации приурочены к мезо-кайнозойским, слабо эродированным складчатым структурам, а магнезиально-скарновой — к древним щитам и областям разновозрастной (от каледонской до альпийской) складчатости. Месторождения магнезиально-скарнового и лудвигитового типов известково-скарновой формации обычно встречаются в комплексе с некоторыми видами металлического оруденения.

Вулканогенно-осадочные отложения экзогенной группы локализованы в областях третичного и четвертичного вулканизма и в Альпийско-Гималайском поясе приурочены к периферийным частям срединных массивов, ограниченных глубинными разломами и выраженных в рельефе, как правило, крупными впадинами. По А.А. Озолу и др., выделяют месторождения вулканогенно-осадочных боратов двух типов, первые из которых залегают в соленосных озерных отложениях четвертичного возраста и обладают, как правило, небольшими запасами борных руд, вторые — связаны с озерными отложениями палеоген-неогенового возраста, находятся в глинистых сланцах монтмориллонитового и палыгорскит-сепиолитового состава и характеризуются крупными запасами борного ангидрита. Характерными особенностями таких месторождений бора являются

преимущественно карбонатно-глинистый и соленосно-глинистый состав вмещающих отложений, а также их "зараженность" соединениями As, Sb, Sr, Li и некоторых других элементов.

Галогенно-осадочные месторождения связаны с крупными солеродными бассейнами и подразделяются на два типа, приуроченные к толщам калийно-магниевых солей и отложениям гипсовых шляп. Морфологически рудные тела представлены пласто- и линзообразными залежами и имеют рассеянную минерализацию. Бороносные солянокупольные структуры обычно тяготеют к грабенообразным прогибам и преимущественно к их бортовым частям, обладающим повышенной плотностью дизъюнктивных нарушений. Для них характерна также локализация повышенных концентраций бора на контактах хлоридных и сульфатных солей в интервалах их частой переслаиваемости.

Особенностями физических свойств боратов являются [23] невысокое электрическое сопротивление (по  $\rho$  порядка 60—100 Ом·м они соизмеримы с вмещающими гипсоносными глинами), пониженная плотность ( $\sigma = 2,1$  г/см<sup>3</sup>, совпадает с  $\sigma$  галита и на 0,4—0,8 г/см<sup>3</sup> меньше  $\sigma$  гипсов и ангидритов). Бораты практически немагнитны, и их пластовая скорость незначительна (0,9—2,2 км/с), однако среди более высокоскоростных галогенных образований маломощные боратые пропластки и горизонты с рассеянной минерализацией выделять по данным сейсморазведки затруднительно. Кроме того, бораты обладают повышенной растворимостью, что благоприятствует возникновению широких ореолов рассеяния, и высоким сечением поглощения тепловых нейтронов ( $750 \cdot 10^{-28}$  м<sup>2</sup> у бора на фоне  $(0,1-1) \cdot 10^{-28}$  м<sup>2</sup> у других элементов). Физические свойства боросиликатов изучены недостаточно.

Большинство объектов поисково-разведочных работ на бор следует аппроксимировать ФГМ в виде горизонтально, наклонно или вертикально залегающих пластов различной протяженности и мощности, тяготеющих к зонам и узлам пересечения тектонических нарушений. Такие пласты следует считать имеющими относительно вмещающих пород невысокое электрическое сопротивление, пониженную или соизмеримую плотность, невысокие скорости распространения упругих колебаний, а также практически немагнитными, способными к повышенному поглощению тепловых нейтронов и окруженными значительными по размерам ореолами рассеяния В. В связи с этим при поисково-разведочных работах следует включать в комплекс исследований электро-, магнито-, сейсмо-, гравиразведку и различные виды геохимических съемок с проведением в скважинах ГИС преимущественно нейтронными методами радиоактивного каротажа (см. табл. 2). Отмеченные и некоторые другие особенности физических свойств борных руд относительно вмещающих пород и достаточно характерная приуроченность продуктивных толщ к определенным тектоническим условиям предопределяют возможности геофизических методов [34] при поиске и разведке месторождений бора (см. табл. 2).

На стадии поиска эндогенных месторождений осуществляется выявление и картирование карбонатных пород, обнаружение и прослеживание разломов и зон их пересечения, с которыми нередко связаны скарновые

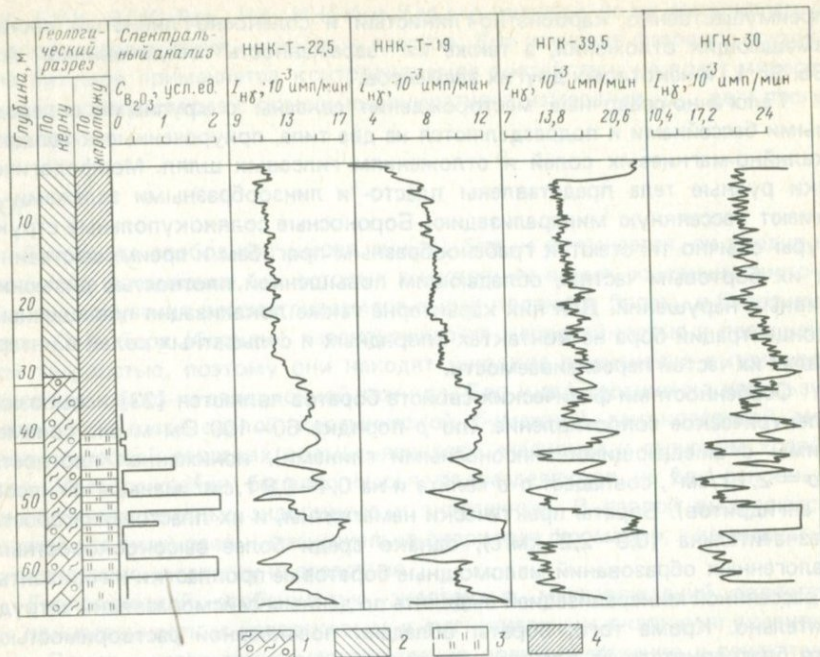


Рис. 12. Результаты ГИС по скв. 59 Жолдыбайского рудопоявления в Казахстане (по В.А. Щербакову, П.Д. Рябинову).

1 — магнезиальный скарн; 2 — породы, перекрывающие скарны; 3 — интервалы различного содержания  $V_2O_5$  по данным ГИС; 4 — интервалы разреза без проведения ГИС

месторождения бора. Для этого рекомендуется использовать (см. табл. 2) электро- и магниторазведку [23]. Эндеогенные месторождения, руды которых связаны с магнетитовым оруденением, обычно выделяются по данным магниторазведки. Для них целесообразно также провести опробование геоэлектрохимического метода.

В процессе поиска вулканогенно-осадочных месторождений обоих вышеназванных типов по материалам электро- и сейсморазведки выясняется литология и оценивается мощность континентальных отложений, а также выявляются бороносные линзы (см. табл. 2). При различной обводненности продуктивных залежей последние отмечаются как повышенными, так и пониженными значениями  $\rho_k$ . Для поиска месторождений, расположенных на площадях, перекрытых толщами галечников или базальтов, следует применять сейсмо- и гравиразведку. При оценке территорий на их бороносность нужно проводить литогеохимическую, гидрогеохимическую, а в некоторых случаях и геоботаническую съемки и использовать нейтронные методы исследований на бор и сопутствующие ему редкие элементы.

При поиске месторождений боратов галогенно-осадочного типа решается задача выявления соляных куполов, к которым нередко приурочены скопления бороносных отложений. Строение соляных массивов, их конфигурацию, размеры и глубины залегания можно определять (см. табл. 2) по данным сейсморазведки и детальной гравиразведки. Изучение кепроков соляных куполов для обнаружения в них промышленных скоплений боратов, определение мощности гипсовой шляпы и наносов, картирование глинистых образований, выяснение характера закарстованности целесообразно осуществлять с привлечением электроразведки (ЭП, ВЭЗ). Литологическое расчленение разреза должно проводиться по данным КС, ПС, ГК, НГК, ННК.

К основным задачам геофизических исследований при предварительной и детальной разведке месторождений борного сырья всех генетических типов относятся (см. табл. 2) литологическое расчленение разреза, выделение по нему бороносных горизонтов и количественное определение борного ангидрита (рис. 12). Для этого в комплекс ГИС необходимо дополнительно вводить ННК (по тепловым и надтепловым нейтронам) и НКР [23]. Порог чувствительности нейтронных методов ГИС обычно составляет 0,25 %  $B_2O_3$ . Для экспрессного определения концентрации бора на образцах и отбора последних для химического анализа следует использовать, согласно Г.В. Остроумову, Ф.А. Булатову, Е.И. Зайцеву и О.К. Мезенцеву, нейтронно-абсорбционный метод, чувствительность которого на рудах эндогенного типа составляет 0,03, а экзогенного — 0,35 — 0,40 %  $B_2O_3$ . Особого внимания заслуживают также результаты подсчета запасов бороносных образований по ядерно-геофизическим данным.

## ВОЛЛАСТОНИТ

Волластонит — типичный минерал скарнов, который по структурным особенностям относится к цепочным силикатам (метасиликатам) семейства пироксеноидов, а по химическим признакам выделяется в самостоятельную группу с составом  $Ca [Si_3O_9]$ . Наиболее часто волластонит встречается в метаморфизованных известняках. При этом в скарнах, связанных с гранитоидами, он ассоциирует с грандитами, пироксенами, касситеритом, шеелитом и золотом, а интрузии щелочного состава обуславливают появление ряда других минералов (флогопит, серпентиниты и др.). Особое положение занимают волластонитовые скарны, связанные с гипербазитами и характеризующиеся преобладанием пироксенов, графита и некоторых минералов семейства амфиболов. В СССР волластонит распространен достаточно широко (Кольский полуостров, Урал, Алтай, Саяны, Якутия, Приморье и др.).

За рубежом, особенно в США, волластонитовое сырье широко используется для получения высококачественной керамики и различных глазурей. В нашей стране в настоящее время рассматриваемый вид сырья не добывается, несмотря на установленную целесообразность его использования в металлургии, керамической, стекольной, электрохимической промышленности, для производства минеральной ваты, удобрений и в

некоторых других отраслях народного хозяйства. Особое значение волластонит приобретает в связи с возможностью замены им асбеста, талька и некоторых других видов сырья.

Практический интерес представляют месторождения волластонита, приуроченные к комплексам метаморфических и известково-силикатных пород. По генетическим признакам С.Д. Дмитриевым и другими исследователями выделены контактово-метаморфический и контактово-метасоматический подтипы, которые наиболее часто встречаются в складчатых поясах и реже тяготеют к подвижным периферийным частям платформенных областей.

По упругим, магнитным и электрическим свойствам волластонитовые скарны<sup>1</sup> и вмещающие породы<sup>2</sup> относительно слабо дифференцированы. Значительнее они различаются по значениям  $\sigma$  и  $I_\gamma$ , причем волластонитовые скарны обычно характеризуются повышенными значениями  $\sigma_{ср} = 2,8 \div 2,9$  г/см<sup>3</sup> по сравнению с вмещающими известняками и гранитами, для которых  $\sigma_{ср}$  соответственно равна 2,70 и 2,63 г/см<sup>3</sup>, и пониженными величинами  $I_\gamma = 0,07 \div 0,4$  пА/кг при  $I_\gamma$  вмещающих пород 0,4–0,7, реже 1,1–1,4 пА/кг. На контакте известково-силикатных пород с интрузиями преимущественно кислого состава в зонах образования волластонитовых скарнов наблюдается непрерывное изменение количественных соотношений минералов, что обуславливает нередко более широкие пределы изменения  $\sigma$  и  $I_\gamma$ . В связи с этим возникает необходимость детального изучения петрофизических характеристик скарнов, в том числе волластонитовых.

При поиске и разведке месторождений волластонита геофизическими методами искомые объекты следует представлять ФГМ в виде пластов с различными условиями залегания и тел неправильной формы, обладающих относительно вмещающих комплексов пород незначительной дифференциацией по электропроводности, магнитным и упругим свойствам при обычно несколько повышенной плотности и пониженной естественной радиоактивности. На этом основании оправдано комплексирование гравиразведки и радиометрической съемки с некоторым объемом электроразведочных работ и проведением по скважинам ГИС в модификациях ГК и ГКК-П (см. табл. 2).

Анализ и переинтерпретация имеющихся геофизических материалов в совокупности с результатами изучения физических свойств позволили наметить комплекс геофизических исследований при поиске и разведке месторождений волластонита. Он предусматривает проведение целенаправленных геофизических работ с учетом имеющихся физико-геологических предпосылок (см. табл. 2).

На стадии поиска для выявления и оконтуривания зон развития волластонитовых скарнов следует привлекать данные крупномасштабной гравиразведки. Так, на месторождении Саяк-1 установлено (рис. 13), что

<sup>1</sup> Около 300 образцов с Койташского месторождения и Алтын-Топканской группы месторождений волластонита изучены во ВНИИгеолнеруде.

<sup>2</sup> Данные получены Б.П. Старковым, А.В. Скорняковым и др. (1972 г.).

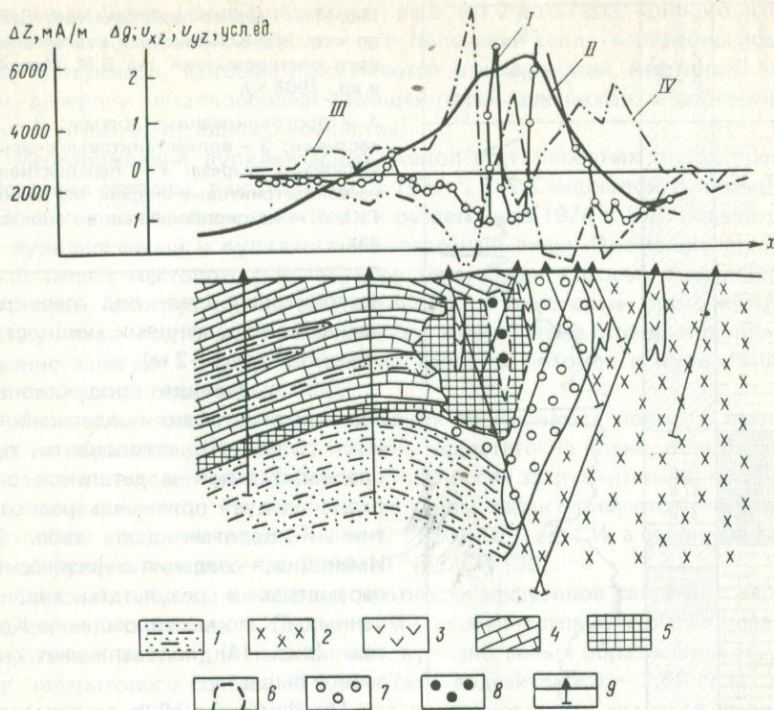


Рис. 13. Геолого-геофизическая характеристика разреза по профилю месторождения Саяк-I (по О.А. Космухамедову).

Кривые: I —  $\Delta Z$ , II —  $\Delta g$ , III —  $U_{xz}$ , IV —  $U_{yz}$ ; 1 — алевриты, песчаники; 2 — гранодиориты; 3 — диоритовые порфириды; 4 — мраморы; 5 — скарны, включая и волластонитовые; 6 — контуры волластонитовых скарнов с  $\Delta\sigma = 0,3-0,5 \text{ г/см}^3$ ; рудные тела: 7 — разведанное с  $\Delta\sigma = 0,7-2,0 \text{ г/см}^3$ ; 8 — предполагаемое с  $\Delta\sigma = 2,0 \text{ г/см}^3$ ; 9 — скважины

локальные аномалии  $\Delta g$  обусловлены влиянием наиболее плотных пород разреза — рудных и гранат-пироксен-волластонитовых скарнов. Последние усиливают интенсивность аномалии  $\Delta g$  вне рудного тела и достаточно отчетливо выделяются по значениям вторых производных поля силы тяжести ( $U_{xz}$  и  $U_{yz}$ ). Для разбраковки рудных и безрудных скарнов в комплексе с гравиразведкой нужно проводить ВЭЗ, ДИП и ВЭЗ-ВП, однако для оценки геологических возможностей этих и других модификаций электроразведки необходимы опытно-методические работы.

Помимо грави- и электроразведки при поисковых геофизических работах рекомендуются также радиометрические съемки, которым благоприятствует различие волластонитовых скарнов и вмещающих пород по  $\gamma$ -активности. Возможности площадной радиометрии ограничены влиянием ряда осложняющих факторов (например, слабой обнаженностью вол-

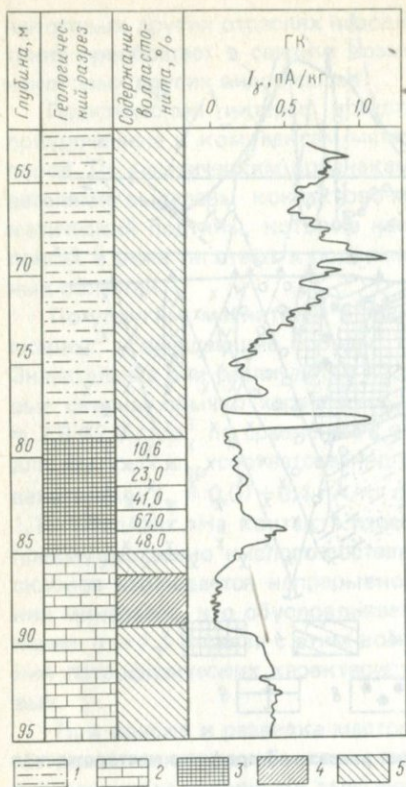


Рис. 14. Геолого-геофизический разрез по скв. 309 Койташского вольфрамового месторождения (по Б.М. Меркелю и др., 1968 г.).

1 — ороговикованные породы; 2 — известняки; 3 — вольфрамитовые скарны; интервалы разреза: 4 — перспективные на вольфрамитовые скарны (по данным ГК), 5 — не опробованные на вольфрамит

ластонитовых тел под перекрывающими отложениями мощностью обычно более 1—2 м).

Для выделения продуктивных горизонтов и оценки содержания в них полезного компонента при предварительной и детальной разведке следует применять радиоактивный каротаж (см. табл. 2). Имеющиеся сведения о физических параметрах и результаты анализа данных ГК по месторождению Койташ (рис. 14) подтверждают сказанное выше.

По приведенной и другим рассмотренным диаграммам ГК установлено, что вольфрамитсодержащие породы обладают пониженной

$\gamma$ -активностью и выделяются среди вмещающих пород пониженными значениями на кривых ГК (см. рис. 14). Для выяснения возможности количественной оценки содержания полезного компонента по геофизическим данным следует проводить петрофизические исследования и опытно-методические работы по опробованию ГГКП (см. табл. 2).

## ВУЛКАНИЧЕСКИЕ СТЕКЛОВАТЫЕ ПОРОДЫ

Рассматриваемая группа сырья включает в себя вулканические стекла и стекловатые породы. К первым из них относятся породы различного химического состава, на 90 % и более состоящие из стекла с незначительной примесью кристаллических включений. Промышленное значение имеют только вулканические стекла кислого состава (обсидиан, перлит и др.). Разновидности вулканических пород с содержанием стекла менее 90 % относятся к стекловатым породам (шлак, туф и др.).

Способность названных выше пород вспучиваться при обжиге со зна-

чительным уменьшением объемного веса (от 2 до 17 раз) широко используется в строительной индустрии для получения тепло- и звукопоглощающих материалов, которые применяются в химической, нефтяной, пищевой, дерево- и металлообрабатывающей промышленности, а также в ряде других отраслей народного хозяйства.

Месторождения вулканических стекол и стекловатых пород преимущественно связаны, как показано в 1977 г. Г.А. Смирновой, с зонами альпийского тектогенеза и генетически разделены в 1974 г. В.В. Наседкиным на вулканогенный и вулканогенно-осадочный типы. Промышленное значение имеют месторождения первого типа, среди которых выделяют эффузивный, экструзивный, эксплозивный и некоторые промежуточные между ними подтипы. Вулканические стекловатые породы преимущественно залегают в виде застывших лавовых потоков и куполовидных вулканических построек.

Физические свойства вулканических стекловатых пород и вмещающих их образований (табл. 4) изучены недостаточно полно, поэтому оценка соответствующей их дифференцированности затруднительна. Необходимо также отметить, что кислые эффузивы характеризуются значениями магнитной восприимчивости  $\kappa = (0 \div 880) \cdot 10^{-5}$  ед. СИ, а основные разности эффузивных пород — до  $2500 \cdot 10^{-5}$  ед. СИ [36].

Широкие пределы изменения плотности эффузивов связаны с неоднородностью их состава и текстурными особенностями, что наиболее четко устанавливается для палеотипных вулканогенных образований ( $\sigma_{\text{ср}}$  пород липаритового состава —  $2,55 \text{ г/см}^3$ , андезитового —  $2,68 \text{ г/см}^3$  и базальтового —  $2,85 \text{ г/см}^3$ ) [36]. Для их кайнотипных аналогов также характерен относительно широкий диапазон изменения  $\sigma$  в зависимости от текстурных особенностей ( $\sigma_{\text{ср}}$  липаритов —  $2,35 \text{ г/см}^3$ , андезитов —  $2,49 \text{ г/см}^3$ , базальтов —  $2,54 \text{ г/см}^3$ ). Определенный интерес имеют корреляционные связи между  $\sigma$  и  $\kappa$ . Наличие таких связей, правда недостаточно изученных, установлено, в частности, для продуктивных пород Богопольского месторождения.

У вулканогенных образований удельные сопротивления  $\rho$  изменяются также в значительных пределах, причем в зависимости не только от их вещественного состава, но и от массивности, сохранности, обводненности и некоторых других факторов. Весьма недостаточно изучена радиоактивность рассматриваемых образований. Геологическая обусловленность радиометрических аномалий интенсивностью до  $3,9 \text{ нА/кг}$  в горизонте трахитовых туфов Богопольского месторождения целенаправленно не изучалась. Среди эффузивных и пирокластических образований этого же месторождения у перлитов отмечается наименьшая естественная  $\gamma$ -активность.

При поиске и разведке месторождений вулканических стекловатых пород геофизическими методами продуктивные образования в основном следует представлять ФГМ в виде пластов с различными условиями залегания, характер дифференцированности которых относительно вмещающих пород по физическим свойствам следует уточнять на основе более широкого их изучения. Однако с учетом известных данных очевидно, что при поисково-разведочных работах нужно включать в комплекс магнито-

Таблица 4. Физические свойства продуктивных (числитель) и вмещающих (знаменатель) пород некоторых месторождений вулканических стекловатых пород

Физические свойства	Месторождения					
	Арагацкое (АрмССР)	Фонтан-Джраберское (АрмССР)	Ташкескенское (ТаджССР)	Чолонское (КиргССР)	Мухор-Талинское (БАСССР)	Богопольское (Приморье)
$K, 10^{-5}$ ед. СИ	$\frac{0 (1); 69-290 (2)}{-}$	$\frac{0 (1); 0-10 (2)}{-}$	—	—	—	$\frac{\text{До } 380 (3)}{38-88 (4)}$
$\sigma, \text{г/см}^3$	1,30–1,42 (1); 2,37 (2)	1,30–1,89 (1); 2,35 (2)	—	—	—	$\frac{2,32 (5)}{1,95-2,02 (4)}$
$I_r, 10^{-2}$ ед. СИ	$\frac{0}{-}$	$\frac{0}{-}$	—	—	—	—
$v_p, 10^3$ м/с	$\frac{2,15-3,75 (1); 5,2-5,75 (2)}{-}$	$\frac{2,5-4,65 (1); 5,5-6,4 (2)}{-}$	—	—	—	—
$\eta, \%$	$\frac{4,18 (1); 0 (2)}{-}$	$\frac{0,26-0,27 (1); 0 (2)}{-}$	—	—	—	—
$\rho, \text{Ом}\cdot\text{м}$	$\frac{133 \cdot 10^3 (1); 132 \cdot 10^3 (2)}{-}$	$\frac{3,50 \cdot 10^3 (1)}{-}$	$\frac{180-200 (5)}{860 (6); 250 (7)}$	—	—	—
$I_\gamma, \text{пА/кг}$	—	—	—	$\frac{2,5-3,9 (10)}{-}$	$\frac{1,4-3,9 (9)}{1,4-2,1}$	$\frac{0,6-1,0 (1)}{1,4-1,6 (8)}$

Примечания. 1. Таблица составлена по данным ВНИИгеолнеруда, Воронежской ГФЭ ПГО Центргеология, ПГО Бурятгеология и Приморгеология. 2. Цифрами в скобках обозначены типы пород: 1 — перлит; 2 — обсидиан; 3 — витрофир, перлит; 4 — фельзолипарит, туфобрекчия; 5 — витрофир, перлит, игнимбрит; 6 — современные перекрывающие отложения; 7 — подстилающие лавы и кварцевые порфиры; 8 — туфобрекчии; 9 — перлит, трахитовые туфы; 10 — липариты.

грави-, электро- и сейсморазведку и литогеохимическую съемку, которые целесообразно дополнять геотермическими исследованиями, электрическим и радиоактивным каротажем (см. табл. 2).

Ограниченная изученность физических свойств рассматриваемых пород и отсутствие достаточно четких структурно-тектонических факторов, контролирующих их развитие, затрудняют установление благоприятных физико-геологических предпосылок для использования при поисково-разведочных работах конкретных геофизических методов. В определенной степени этим объясняются весьма малые объемы и незначительная геологическая результативность выполненных работ (КЭП, СЭП, ВЭЗ) на Ташкескенском месторождении выявлена слабая дифференциация вмещающих и продуктивных толщ по проводимости, из-за чего над последними лишь при незначительной мощности покровных отложений отмечены малоинтенсивные отрицательные аномалии  $\rho_k$ . Для изучения Мухор-Талинского месторождения проводились ГИС методами КС, ПС, ГК и МСК, однако уверенного расчленения пород разреза они не обеспечили. Лишь в одной из скважин по относительно дифференцированной кривой МСК выделена в разрезе липаритовая толща.

Геохимическими исследованиями установлено обогащение вулканических стекол рудными (преимущественно халькофильными) элементами (особенно Bi, Sb, Cd и в меньшей степени Ge и Mo). Из редких элементов наиболее высокие содержания отмечаются для Rb и Cs. Эти данные свидетельствуют о геохимических различиях вулканических стекол и их глубинных аналогов — гранитов, что указывает на целесообразность использования геохимических методов при поиске и разведке вулканогенных образований, однако эти методы пока ограничено применяются при геологоразведочных работах.

Недостаточная изученность физических свойств вулканических стекловатых пород и незначительный объем геофизических исследований, выполненных на месторождениях этих пород, позволяют высказать лишь некоторые предварительные соображения о целесообразности использования и комплексирования геофизических методов на отдельных стадиях поисково-разведочных работ (см. табл. 2). Эти рекомендации не предусматривают различия геофизических исследований и не детализируют методику их проведения в зависимости от генетических типов месторождений. Для более детальной разработки вопросов проведения геофизических исследований необходимо проводить опытно-методические и тематические работы, анализ результатов которых позволит конкретизировать и уточнить вопросы, связанные с особенностями геофизических исследований на месторождениях вулканических стекловатых пород.

## ГИПС И АНГИДРИТ

Эти породы являются водным и безводным сульфатами Ca и относятся к мономинеральным образованиям с определенными примесями глинистых веществ, карбонатов, песка, колчедана и др. Гипс (гипсовый камень)

используется преимущественно при производстве вяжущих материалов для гипсования засоленных почв, в металлургии, оптике, медицине, служит наполнителем для писчей бумаги, сырьем для производства химикатов. Ангидрит как сырье для производства вяжущих материалов обладает пониженным качеством по сравнению с гипсом и поэтому добывается в ограниченном количестве. В ряде регионов (Кавказ, Средняя Азия и др.) развиты глинистые образования, состоящие из гипса и песчано-известково-глинистого материала (гажа, гонч, глино-гипс) и применяемые главным образом для гипсования почв.

Основным генетическим типом месторождений гипса и ангидрита является осадочный, для которого характерны крупные и средние по размерам пласто- и линзообразные залежи, обычно не выдержанные по мощности и приуроченные к карбонатно-терригенным толщам. Среди осадочных месторождений гипса выделяют син- и эпигенетические подтипы, для первого из которых характерны многочисленные, но незначительные по размерам залежи. Эпигенетические же месторождения служат основой для разработки сырья и представлены мощными (до 60–80 м) продуктивными толщами. Последние осложнены тектоническими нарушениями, особенно в районах развития солянокупольных структур. Нередко эти залежи характеризуются относительно сложной морфологией из-за развития в их пределах карста.

Монолитные гипсы и ангидриты обладают заметно более высокими значениями  $\rho$  (от 250–400 до  $10^3$ – $10^4$  Ом·м чем вмещающие их терригенные породы (глины и суглинки 40–100 Ом·м, пески и песчаники – до  $10^2$ – $10^3$  Ом·м. У разрушенных гипсовых пород  $\rho$  уменьшается и, согласно М.Л. Хацкелю, не превышает, например, на Нижне-Баскунчакском месторождении 80–350 Ом·м. Проводимости же у высокоомных гипсово-ангидритовых и вмещающих галогенно-карбонатных отложений, как правило, достаточно близки. По поляризуемости гипсы и вмещающие породы обычно не различаются.

Плотность у гипсов и ангидритов ( $2,2$ – $2,4$  г/см<sup>3</sup>) обычно несколько выше, чем у терригенных пород, но равна или меньше, чем у карбонатов [36]. Гипсоносные отложения обладают пониженной естественной радиоактивностью и повышенной акустической жесткостью по сравнению с вмещающими песчано-глинистыми толщами. Например, на месторождении Прайнсфельд (Австрия) граничные скорости в гипсовых и доломито-ангидритовых комплексах достигают 4 км/с и более, а во вмещающих глинисто-сланцевых толщах  $v_p$  порядка 1,8–2,8, реже 3–3,3 км/с. Ультразвуковыми исследованиями этих же пород отмечен анизотропный характер изменения в них скоростей распространения упругих колебаний.

При геофизических исследованиях залежи гипса и ангидрита следует представлять ФГМ в виде неограниченных или конечных по простиранию пластов субгоризонтального или наклонного залегания. Такие пласты необходимо характеризовать повышенными значениями электрического сопротивления, плотности, акустической жесткости и пониженными величинами естественной  $\gamma$ -активности относительно терригенных комплексов пород. Несколько отличен от приведенного характер дифференцированно-

сти по физическим свойствам у залежей гипса и ангидрита среди карбонатных и терригенно-карбонатных отложений, однако независимо от литологических особенностей разреза комплекс поисково-разведочных геофизических исследований должен выполняться различными модификациями электроразведки с небольшим объемом сейсмо- и гравиразведочных работ, а также включать методы электрокаротажа при ограниченном использовании радиоактивных видов ГИС (см. табл. 2).

Дифференциация физических свойств рассматриваемых полезных ископаемых и вмещающих пород, а также особенности залегания и геологического строения продуктивных толщ в целом благоприятствуют использованию геофизических методов при геологоразведочных работах. Опыт отечественных и зарубежных исследований свидетельствует, что обоснованное привлечение геофизики и рациональное комплексирование ее с геологическими методами обеспечивают решение разнообразных геологических задач (см. табл. 2) [3, 23].

На стадии поиска геофизические методы и преимущественно различные модификации электроразведки целесообразно привлекать для выявления и оконтуривания участков развития залежей рассматриваемых полезных ископаемых и решения некоторых других задач (см. табл. 2). По материалам электроразведки строятся разрезы изолиний  $\rho_k$ , геоэлектрические разрезы, схемы кривых ВЭЗ, параметра  $\rho_{k \max}$  и изоглубин залегания продуктивных толщ. Следует также определять угол наклона  $\alpha$  к оси абсцисс билогарифмического графика асимптоты к правой восходящей ветви кривой ВЭЗ, что обеспечивает, в частности, построение графиков и планов  $\rho_k \operatorname{tg} \alpha$ . Повышенные значения  $\rho_k$ ,  $\rho_{k \max}$  и  $\rho_k \operatorname{tg} \alpha$  на соответствующих графиках и схемах позволяют обычно выделять зоны развития гипсоносных отложений. Однако необходимо учитывать нередко сходную проводимость гипсово-ангидритовых и вмещающих галогенно-карбонатных отложений, а также загипсованных пород и песков. Из сказанного видно, что электроразведочные данные не всегда допускают однозначную интерпретацию выделенных высокоомных зон, поэтому необходимо четко и оперативно увязывать электроразведочные и геологические материалы. Обычно достаточно надежна и оценка с помощью электроразведки элементов залегания продуктивных толщ (глубины, мощности и др.), что успешно проведено на ряде месторождений.

В неблагоприятных геоэлектрических условиях (наличие в разрезе песчано-гравийных отложений и др.) электроразведку необходимо комплексировать с сейсморазведкой (МПВ). Последняя при незначительной мощности зоны малых скоростей (ЗМС), высоком уровне грунтовых вод и отсутствии достаточно мощных пластов глин позволяет не только решать рассмотренные выше задачи, но и выяснять некоторые гидрогеологические особенности разреза. Надежная оценка по данным МПВ глубин залегания преломляющих горизонтов связана с необходимостью изучения скоростной характеристики разреза, и для этого рекомендуется проводить в поисковых скважинах исследования методом МСК.

В поисковых скважинах необходимо также использовать методы КС и ГК. При этом гипсово-ангидритовые породы отчетливо выделяются по

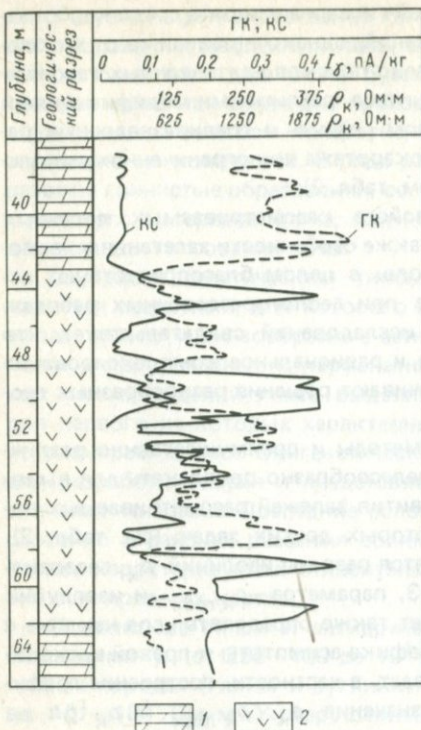


Рис. 15. Геолого-геофизический разрез по скв. 5 месторождения Скайстакане (по Х.С. Брио и др.).

Породы: 1 — глинисто-карбонатные, 2 — гипсосодержащие

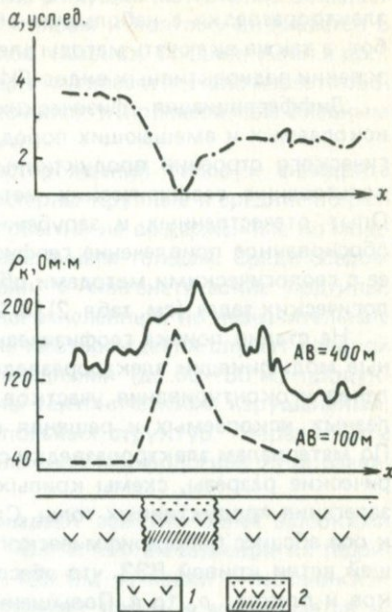


Рис. 16. Графики параметров  $\alpha$  и  $\rho_K$  над карстовой зоной.

1 — глинисто-карбонатные породы; 2 — закарстованная зона

повышенным значениям  $\rho_K$  на диаграммах КС и пониженным величинам естественной радиоактивности на кривых ГК (рис. 15). Выявление в разрезе гипсоносных отложений по данным электро- и гамма-каротажа известно и из практики зарубежных исследователей [34].

В пределах развития высокоомных гипсово-ангидритовых пород участки их закарстованности обычно отмечаются пониженными значениями  $\rho_K$ . Наряду с электроразведкой для определения участков закарстованности целесообразно привлекать и другие методы, используя опыт карстолого-геофизических исследований [7 и др.].

Геологические задачи при разведке месторождений (см. табл. 2) в основном решаются с помощью тех же методов, что и на поисковой стадии, но с необходимым сгущением сети и увеличением детальности исследований. При оконтуривании карстовых форм наряду с методами ВЗЗ и СЭП применяют и КЭП, на графиках которого карстовые образования, особенно незначительных размеров, отчетливо выделяются "проводящими" перекрестиями кривых встречных установок. В ряде случаев над за-

карстованными зонами графиками ЭП отмечаются повышенные значения  $\rho_{\kappa}$  из-за "затушевающего" влияния более высокоомных покровных отложений. Целесообразно проводить ЭП, особенно СЭП, двухразносными установками с использованием при обработке полученных материалов параметра  $a$ , представляющего собой отношение значений  $\rho_{\kappa}$ , зафиксированных установками с большими разносами, к величинам  $\rho_{\kappa}$ , зарегистрированным при меньших разносах АВ. Нередко графики этого параметра позволяют более однозначно, чем кривые  $\rho_{\kappa}$  одноразносного профилирования, выявлять карстовые образования (рис. 16). К разведке карста на Нижне-Баскунчакском месторождении успешно привлекалось и трехразносное ЭП, по данным которого не только выявлены карстовые полости с поперечными размерами в единицы и первые десятки метров, но и оценены объемы закарстованных пород.

К разведке закарстованных месторождений рассматриваемых полезных ископаемых, особенно при сложном и неблагоприятном характере геоэлектрического разреза, необходимо привлекать сейсморазведку МПВ и шире проводить работы методом МСК в скважинах. Закарстованные участки обычно отмечаются непротяженными преломляющими границами с резкими их изломами и наклонами, а иногда и с характерным затуханием полезных волн. Определенный опыт таких исследований накоплен геофизиками ЛатвССР. В тех случаях, когда развиты незаполненные карстовые формы или последние выполнены весьма рыхлым материалом с незначительной плотностью, эффективна и гравиразведка. На рис. 17 показано сопоставление результатов, полученных с помощью этого метода и ВЭЗ на одном из месторождений Донбасса. Данные обработаны с нахождением параметра  $d/dx(\rho_{\kappa 2}/\rho_{\kappa 1})$ , близкого по информативности к параметру  $a$ .

Рекомендуемый комплекс геофизических исследований (см. табл. 2) успешно опробован на многих месторождениях. При поисках месторождений рассматриваемых полезных ископаемых целесообразно опробовать ЧЭМЗ и некоторые другие методы электроразведки переменными электромагнитными полями [42], а при разведке месторождений, в первую очередь, закарстованных, — геотерморазведку, гамма-спектрометрическую съемку и метод двух составляющих, показавшие хорошие результаты при изучении закарстованности карбонатных пород.

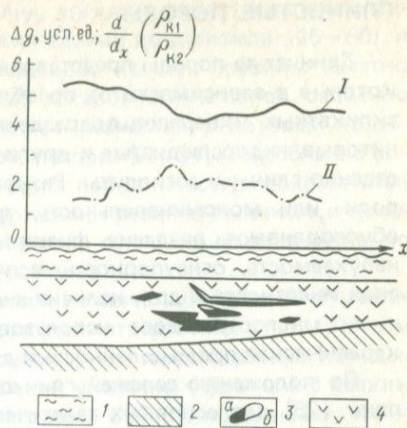


Рис. 17. Результаты грави- и электроразведки над закарстованной зоной [3].

*I* —  $\Delta g$ ; *II* —  $d/dx(\rho_{\kappa 1}/\rho_{\kappa 2})$ ; 1 — аллювий; 2 — глинистая толща; 3 — карстовые полости; а — заполненные, б — незаполненные; 4 — гипсодержащие отложения

## ГЛИНИСТЫЕ ПОРОДЫ

Глинистые породы представляют собой тонкодисперсные образования, которые в зависимости от преобладания в составе определенных алюмосиликатных минералов подразделяются на каолиновые, монтмориллоновые, гидрослюдистые и другие, а по степени уплотненности — на собственно глины и аргиллиты. Разнообразие минералогического состава, его поли- или мономинеральность, присутствие и концентрация примесей обуславливают различие физико-механических свойств (пластичность, набухаемость, огнеупорность, вспучиваемость, адсорбционность, химическая инертность и др.), наличие значительного числа разновидностей глин и их многоотраслевое использование (металлургия, машиностроение, керамическая промышленность и др.).

По положению залежей глин относительно материнских пород выделяют [26] два основных генетических типа: остаточный (элювиальный), образованный продуктами выветривания, оставшимися в местах их образования, и осадочный или переотложенный (делювиальный, аллювиальный и т. п.), представленный перемещенными с места образования продуктами кор выветривания. Известны также месторождения глинистых пород вулканогенно-осадочного типа (бентонитовые глины), гидротермально-метасоматического (гидротермальные каолины — каолинизированные фельзит-порфиры или фарфоровый камень) и месторождения метаморфогенных пород (глинистые сланцы).

Глинистые породы относительно вмещающих отложений, а также отдельные разновидности глин между собой различаются по значениям параметров  $\rho$ ,  $\eta$ ,  $\sigma$ ,  $I_\gamma$  и  $\nu$ , в меньшей степени — по  $k$ . Величины  $\rho$  глинистых образований зависят от литолого-фациальных особенностей, гранулометрического состава, пластичности, водонасыщенности и степени минерализации насыщающих (или подземных) вод. При изменении массового содержания глинистой фракции (ГФ) диаметром  $d < 0,001$  мм от 25 до 50 %  $\rho_k$  некоторых глин Латвии уменьшается примерно с 50 до 20 Ом·м. Снижение значений  $\rho$  глин вызывает и увеличение числа пластичности (ЧП) с 10 до 40 (рис. 18) при изменениях вида зависимости между этими параметрами (линейный в Латвии, логарифмический в Молдавии). Влияние водонасыщенности и степени минерализации на  $\rho$  глин недостаточно исследовано, однако выяснено, что при одинаковой обводненности разреза каолиновые глины по сравнению с монтмориллоновыми и гидрослюдистыми обычно более высокоомны. Это определяется меньшей водонасыщенностью каолинов относительно других глинистых образований из-за повышенного содержания в первых тонкозернистой алевритовой фракции, представленной кварцем. Геофизиками Среднеуральской КГПЭ ПГО Уралгеология по параметрическим ВЭЗ над скважинами изучено изменение  $\rho$  глинистых пород в зависимости от их минерального и гранулометрического составов. При этом установлено возрастание значений  $\rho$  от монтмориллонита к гидрослюдистым глинам и от последних к каолинам при одном и том же гранулометрическом составе полезного ископаемого.

У глинистых пород (собственно глин, аргиллитов и глинистых сланцев)  $\rho$  обычно изменяется от нескольких единиц до десятков (25—50) и реже до первых сотен (100—300) ом-метров, что, как правило, заметно меньше, чем у вмещающих терригенных и карбонатных пород, особенно у их метаморфизованных и окварцованных разновидностей,  $\rho$  которых колеблется от сотен до нескольких тысяч ом-метров [23, 34]. Подобные соотношения  $\rho$  рассматриваемых и вмещающих пород не всегда сохраняются и, например, при незначительном содержании гравийно-галечных и некоторых других включений глины и глинистые суглинки мало отличны по значениям  $\rho$  от вмещающих терригенных пород.

От соотношения песчаной, алевритовой и глинистых фракций в глинах зависит также и параметр  $\eta$ . Так, некоторые четвертичные глины Латвии обладают в 2—4 раза меньшей поляризуемостью, чем вмещающие породы. Сопоставление средневзвешенных значений указанных фракций с результатами количественной интерпретации кривых ВЭЗ-ВП показывает, что  $\eta$  этих глин изменяется от 0,1 до 1,5 %, уменьшаясь при увеличении ЧП и возрастая при увеличении песчаной и алевритовой фракций  $d > 0,01$  мм (см. рис. 18). Несколько отличные значения  $\eta$  у глин установлены в центральных районах европейской части РСФСР, где удельная поляризуемость широко развитых глин юрского возраста, являющихся региональным водоупором, нередко достигает 3—4 %. Наиболее высокие значения  $\eta$  наблюдаются у глин, в которых массовое содержание пылеватого и глинистого материала в виде частиц с  $d < 0,01$  мм достигает, по Н.Н. Шарапову, Г.Я. Черняку и В.А. Барону, 70—75 %.

Величина  $\sigma$  глин обычно варьирует в пределах 1,2—2,4 г/см<sup>3</sup> [36] и нередко на 0,5—1,0 г/см<sup>3</sup> и более ниже значений плотности вмещающих пород. Несколько большей  $\sigma$ , чем глины, обладают аргиллиты (1,7—2,9 г/см<sup>3</sup>) и глинистые сланцы (2,4—3,0 г/см<sup>3</sup>), относительно которых карбонатные и грубозернистые терригенные породы характеризуются более повышенной  $\sigma$  (на 0,1—0,6 г/см<sup>3</sup>).

По параметру  $I_{\gamma}$  глины (0,7—2,1 пА/кг) отличаются от других терригенных (0,2—0,8 пА/кг) и карбонатных (0,1—0,6 пА/кг) пород. Однако возможность разделения глинистых и вмещающих пород, а также отдельных разновидностей глин по естественной и наведенной  $\gamma$ -активности недостаточно изучена.

Упругие свойства глинистых пород различаются в зависимости от содержания в них алевритовой и песчаной фракций. В суглинках и грубопесчаных глинах значения  $v$  обычно не превышают 0,4—0,5 км/с, в песчаных глинах — 1,0—1,3 км/с, в плотных вязких глинах, нередко с примесью обломков коренных пород, — 1,3—2,0 км/с и в коренных породах — 4—6 км/с. Из-за различия глин по их набухаемости, обусловленной проникновением воды в межпакетные пространства, упругие свойства отдельных разновидностей увлажненных глин отличны, но эта дифференцированность недостаточно изучена. Имеются основания предполагать, например, что вследствие различной набухаемости, каолины характеризуются более высокими значениями  $v$ , чем бентониты. Относительно глинистых пород вмещающие грубозернистые терригенные отложения харак-

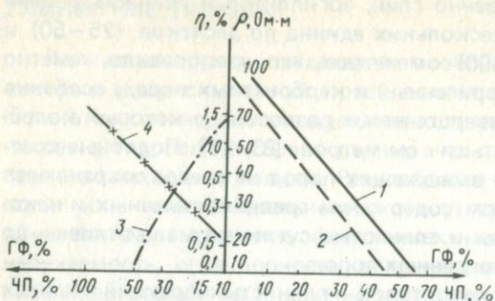


Рис. 18. Зависимость параметров  $\rho$  и  $\eta$  некоторых разновидностей глин ЛатвССР от содержания глинистой фракции (ГФ) и числа пластичности (ЧП) (по Х.С. Брио и В.М. Куршсу).

Зависимости  $\rho$  от: 1 — содержания ГФ,  $d < 0,001$  мм; 2 — ЧП; зависимости  $\eta$  от: 3 — ЧП, 4 — содержания ГФ,  $d > 0,01$  мм

теризуются меньшими или соизмеримыми величинами  $v$ . Во вмещающих неразрушенных карбонатных породах скорость заметно выше, чем в глинистых отложениях.

Дифференциация по магнитной восприимчивости  $k$  глин и вмещающих отложений обычно весьма незначительна. В платформенных условиях глинистые породы практически немагнитны, а в геосинклинальных они часто обладают и заметными величинами  $k$ , причем значения этого параметра во многом определяются характером и содержанием реликтов материнских пород. Так, например, при "загрязнении" глинистых пород магнетитом, титан- и цирконийсодержащими песками  $k$  глин достигает  $(250 - 380) \cdot 10^{-5}$  ед. СИ и более [23].

Залежи глин как объекты поиска и разведки геофизическими методами следует представлять ФГМ в виде пластов различной мощности и условий залегания, конкретизация которых должна проводиться в зависимости от их генетической приуроченности и особенностей геологического строения изучаемого региона. С учетом этих обстоятельств будет варь-

ировать и характер дифференциации таких пластов относительно вмещающих пород по большинству физических свойств, а соответственно видоизменяться и комплекс геофизических исследований. Последние должны проводиться в основном различными модификациями электроразведки в сочетании с грави-, сейсмо-, а иногда и

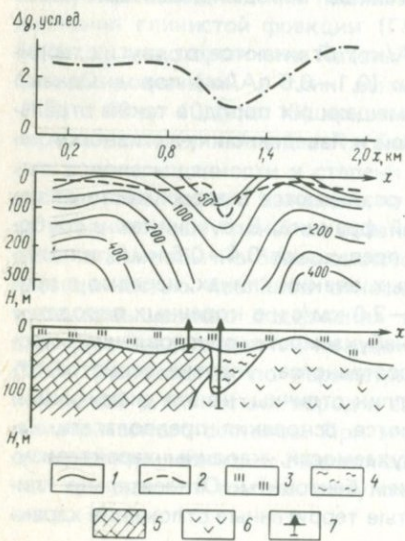


Рис. 19. Геолого-геофизический разрез через кору выветривания (по Г.И. Фундеру, М.Н. Столпнеру и С.С. Цюцкому).

1 — изолинии  $\rho_k$ ; 2 — кровля опорного электрического горизонта; 3 — покровные отложения; 4 — кора выветривания; 5 — известняки; 6 — порфириды; 7 — скважины

магниторазведкой при обязательном дополнении электрокаротажем и некоторыми другими видами ГИС (см. табл. 2).

Отмеченные различия физических свойств глинистых и вмещающих пород, а также приуроченность первых к определенным структурно-тектоническим элементам, отображающимся в физических полях, создают благоприятные в целом физико-геологические предпосылки для применения геофизических методов при поисках и разведке рассматриваемых пород [3, 32, 34].

Рекомендуемая комплексность геофизических исследований (см. табл. 2) рассматривается нами для решения задач на отдельных стадиях геологоразведочных работ.

На различных подстадиях поиска залежей глинистых пород соответствующие рекомендации (см. табл. 2) определяются рядом обстоятельств, в том числе особенностями геологического строения отдельных генетических типов месторождений. Так, при поиске остаточных месторождений и изучении кор выветривания линейного типа, связанных с локальными депрессионными структурами, зонами тектонических нарушений и литолого-фациальных контактов, наиболее эффективна высокоточная гравиметровая съемка [34]. Успешно используется для этого электроразведка (СЭП, ВЭЗ, МСГ, ДЭЗ). К зонам развития площадных кор выветривания обычно приурочены участки пониженных значений  $\rho_k$ , которые выявляются по данным ВЭЗ и многообразного СЭП.

Глубины залегания неизмененных коренных пород оцениваются электро- и гравиразведкой с точностью порядка 15–20%. Комплексование геолого-геофизических методов в ряде случаев позволяет сокращать объем бурения путем широкого использования геофизических данных для выявления и картирования кор выветривания и оценки элементов залегания пород разреза, а в некоторых благоприятных случаях также и их вещественного состава.

Площадной гравиметровой съемкой на одной из опоскованных площадей Среднего Урала выявлен локальный минимум  $\Delta g$  интенсивностью порядка первых десятков микроныютон на килограмм, пространственно совпавший с минимумом изолиний  $\rho_k$ , построенным по данным ВЭЗ с шагом 200 м и разносами до 1000 м. Последующее бурение подтвердило наличие на этом участке разреза глинистых образований коры выветривания (рис. 19). В некоторых случаях физические свойства продуктов коры выветривания и рыхлых перекрывающих отложений достаточно сходны, из-за чего грави- и электроразведка не всегда обеспечивают их четкое расчленение.

При поиске месторождений осадочного и вулканогенно-осадочного типов решение основных геологических задач наиболее эффективно выполнять с помощью электроразведки. Так, при поисковых работах на огнеупорные и тугоплавкие глины на флангах Кондровского месторождения геофизики ПГО Центргеология использовали ВЭЗ, двухстороннее КЭП и ДОЗ. Метод ВЭЗ со сгущенными разносами АВ успешно применен для поиска глин в Рязанской обл., где продуктивные отложения приурочены к погребенной долине, заполненной песками и пропластками глин. По ма-

териалам электроразведки выделены участки развития низкоомных отложений, разбуривание которых подтвердило наличие глинистых пород различной мощности.

При поиске месторождений гидротермально-метасоматического типа магнито-, грави- и электроразведку (ВЭЗ, СЭП, МСГ) целесообразно привлекать для выявления и картирования зон тектонических нарушений. В благоприятных геоэлектрических условиях электроразведка обеспечивает также и выявление низкоомных зон, связанных с участками развития гидротермально измененных пород, к которым нередко и приурочены глинистые залежи. Так, в Закавказье на Чардахлинском месторождении каолинов, по данным С.Г. Гараева, двухразносным КЭП с установками  $AO = OB = 70$  и  $120$  м,  $MN = 10$  м и шагом  $10-15$  м осуществлено трассирование и оценка углов падения проводящих аномальных зон, характер каолинитизации которых установлен проверочным бурением.

При предварительной и детальной разведке месторождений Глин геофизические методы обеспечивают решение ряда геологических задач (см. табл. 2). При этом, особенно при детальной разведке, необходимо учитывать экономическую целесообразность постановки и проведения крупномасштабных, детальных и высокоточных геофизических исследований, а также определять рациональную последовательность и комплексность геолого-геофизических работ. Для выявления и оконтуривания продуктивных толщ рекомендуется привлекать электроразведку ВЭЗ, КЭП, СЭП и ДЭП. В зависимости от особенностей геологического строения дополнительно могут использоваться детальная гравиразведка, малоглубинная сейсморазведка с невзрывными источниками колебаний, а в некоторых благоприятных случаях и магниторазведка.

Литологическая неоднородность продуктивной толщи и структурные осложнения ее верхней части ("гребневидные поднятия") существенно осложнили разведку Троицко-Байновского месторождения огнеупорных глин в Свердловской обл. Несмотря на детальное разбуривание продуктивной залежи по сети  $20 \times (20-40)$  м и менее, значительная часть запасов ( $10-60\%$ ) в процессе эксплуатации не подтвердилась. Доразведка месторождения проведена с привлечением геофизических методов (КМПВ, СК, СЭП, МР). Данные А.И. Назарова и Ю.Т. Политова свидетельствуют, что плановое положение "гребней" огнеупорных глин установлено по характерным осложнениям волнового и геоэлектрического полей.

При литологическом расчленении разреза наряду с наземными геофизическими методами целесообразно шире проводить ГИС, которые успешно использованы геофизиками ПГО Центргеология при разведке огнеупорных глин в Воронежской обл. При этом материалы ГК, ПС и КС привлекались при литолого-стратиграфическом расчленении разреза, установлении глубин залегания и мощности продуктивных толщ и площадной межскважинной корреляции геологических разрезов, что нередко позволяло существенно дополнить данные бурения и сократить объемы отбора керна в верхней части разреза. Для выбора оптимальных размеров стандартных зондов следует использовать данные ГИС в модификации БКЗ, а также проводить опытно-методические работы по оценке возможности МКМВ с высокочувствительной аппаратурой.

При разведке Ангренского месторождения каолина и углей литологическое расчленение разреза осуществлялось комплексом методов ГИС, включающих КС, ВП, ГК и ГГК. У каолинов и вмещающих угленосных отложений электропроводимость обычно близкая, вследствие чего их расчленение нередко осуществлялось по материалам ВП.

Современные ядерно-геофизические методы ограниченно привлекаются для изучения вещественного состава глинистых пород в полевых и лабораторных условиях. В связи с этим целесообразно проводить опытно-методические работы, которые могут использовать опыт применения названных выше методов для изучения бокситоносных образований.

Исследования, осуществленные сотрудниками ПГО Уралгеология, показали возможность литологического расчленения глинистых толщ методом ВЭЗ. Анализ типов кривых ВЭЗ и характера отдельных их ветвей на Мостовском участке каолиновой залежи, образовавшейся при выветривании фельзитов, позволил установить, что кривые ВЭЗ над каолинами имеют тип КН, слабовыраженные экстремумы и крупные перегибы при разносах  $AB/2 = 10 \div 70$  м и регистрируемых значениях  $\rho_K = 200 \div 400$  Ом·м. Над некаолиновыми глинами обычно фиксируются кривые ВЭЗ типа Н и А со значениями  $\rho_K$  порядка 40—100 Ом·м. По данным параметрических ВЭЗ выяснено, что  $\rho_K$  каолинов, залегающих выше уровня грунтовых вод, обычно достигает 600—700 Ом·м, а ниже этого уровня оно уменьшается до 200—230 Ом·м. Как показал Д.С. Вагшаль, такая дифференциация значений  $\rho_K$  у обводненных и необводненных каолинов позволяет оценивать по данным ВЭЗ положение уровня грунтовых вод. Заслуживает внимания опыт использования материалов ВЭЗ для выделения бентонитов, характеризующихся по сравнению с другими вмещающими глинистыми образованиями более низкими значениями  $\rho_K$ .

На территории ЛатвССР и центральных районов РСФСР проводятся работы для выяснения возможности оценки по данным ВЭЗ и ВЭЗ-ВП глинистости и пластичности продуктивных пород, а также выделения последних среди песков и песчанистых отложений. Несомненно, что опробование этих методов для решения такой геологической задачи представляет значительный интерес и практическую ценность. Достаточно актуально и более широкое использование методов геофизики при эксплуатационной разведке и разработке месторождений рассматриваемых пород.

Методика зарубежных геофизических исследований при поиске и разведке месторождений глинистых пород, особенно каолинов и огнеупорных глин, в целом аналогична отечественной, однако зарубежные исследователи используют ряд методов, неприменяемых для этого в СССР. Во Франции, например, на карьере Племе залежь каолинов под наносами оконтурена методом СЭП, по материалам которого намечено размещение перспективных зон в коре выветривания и прослежен контакт интрузивных и метаморфических пород. По результатам этих работ переоценены запасы месторождения и сокращены объемы бурения. В некоторых случаях залежи высококачественных каолинов во Франции отмечаются среди вмещающих глинистых отложений повышенными (до 60—80 мВ) значениями ЕП.

По данным СЭП в районе Плевны (Болгария) выделены низкоомные

зоны, соответствующие участкам развития огнеупорных глин, что позволило использовать этот метод для детального опознания продуктивных отложений. Исследованиями ВЭЗ в этом районе установлено уменьшение значений  $\rho_k$  при повышении качества глины. Геофизиками ГДР установлена возможность выделения глин среди мергелей, илов и песков по данным ДЭМЗ и показана целесообразность его использования в районах с большими перепадами  $\rho_k$  (вечная мерзлота, пески и др.).

Зарубежные геофизики, так же как и отечественные, считают наиболее эффективным осуществлять поиск и разведку глинистых пород, особенно каолинов и огнеупорных глин, с помощью электроразведки, в необходимых случаях комплексировав последнюю с сейсморазведкой и ГИС. Использование, по их мнению, одного бурения целесообразно лишь при ограниченных размерах глинистых залежей.

## ГРАФИТ

Основным компонентом графитоносных образований является минерал графит, встречающийся среди изверженных, метаморфических и осадочных пород. Используется графит в производстве огнеупорных материалов, графитокерамических изделий, гальванических элементов, щелочных аккумуляторов, скользящих электроконтактов и т.д. Особо чистые разновидности графита применимы в ядерной промышленности и ряде других отраслей производства.

Основными генетическими типами месторождений графита являются собственно-магматические, контактово-метасоматические, высокотемпературные гидротермальные и метаморфические [26]. Собственно-магматические месторождения связаны с интрузивными и эффузивными породами различного состава. Контактново-метасоматические месторождения обычно приурочены к контактам карбонатных пород с изверженными при содержании графита в рудах до 10—20 %, которые связаны с телами жилло- и штокообразной формы длиной до 120 м и мощностью до 12 м. Высокотемпературные гидротермальные месторождения залегают среди гнейсов и кристаллических сланцев и имеют продуктивные залежи в форме жил и линз мощностью до 5—7 м. Среди метаморфических месторождений выделяют два подтипа, один из которых обусловлен региональным метаморфизмом рассеянных в осадочных породах органических остатков, наиболее развит в СССР и связан с древними метаморфическими толщами, сложенными гнейсами, кристаллическими сланцами, мраморизованными известняками и доломитами. Пласто- и линзообразные залежи в большинстве случаев имеют изрезанную форму с простиранием от нескольких десятков метров до 2—3 км, мощностью до 300 м и содержанием графита от 2 до 30 %. Месторождения другого подтипа связаны с пирро- и динамометаморфизмом углей, располагаются на контактах трапповых интрузий с угленосными горизонтами, образуя залежи пластовой формы мощностью до 30 м с содержанием графита в рудах от 15 до 25 %.

Графитоносные образования независимо от их генетической приуроченности отличаются от вмещающих пород (гранат-силлиманитовые гнейсы, кварциты, мраморы, кальцифиры и др.) низкими значениями  $\rho$

( $0,5 \cdot 10^{-4} - 10^{-1}$  Ом·м), незначительной  $\lambda$  (около 270 Вт/м·К для монокристаллов) и повышенными величинами  $\eta$ . Отдельные разновидности графита заметно различаются по  $\rho$ , что обусловлено структурными особенностями, вариациями зольности и содержания углерода. Для руд, например чешуйчатого графита, характерно изменение  $\rho$  в зависимости от соотношения минеральных примесей и собственно графита:  $(1-5) \cdot 10^{-3}$  и 10–15 Ом·м при содержании последнего соответственно 10–15 и 3–7%. Руды чешуйчатого, кристаллического графита, полосчатые и вкрапленные обладают резко выраженной анизотропностью электрического сопротивления:  $4 \cdot 10^{-4}$  Ом·м вдоль слоистости и 10–100 Ом·м вкрест ее [36]. Недостаточно изучены корреляционные зависимости параметра  $\eta$  собственно графита и графитоносных образований от содержания в них углерода.

У чистого кристаллического графита  $\sigma$  порядка 2,22 г/см<sup>3</sup>, но при увеличении в руде зольности (например, до 60% на Ботогольском месторождении) она увеличивается до 2,42 г/см<sup>3</sup>. На Слюдянском месторождении  $\sigma$  руд уменьшается от 2,7–2,8 до 2,6–2,63 и 2,5–2,52 г/см<sup>3</sup> при возрастании в них содержания чешуйчатого графита соответственно от 3–5 до 15–20 и 30–35% [36]. По значениям  $\sigma$  (2,2–2,8 г/см<sup>3</sup>),  $\kappa$  (6–13, реже до  $57 \cdot 10^{-5}$  ед. СИ),  $\nu$  (3000–4600 м/с) и  $I_\gamma$  продуктивные и вмещающие образования, как правило, недостаточно отличны, но при наличии в разрезе сульфидной минерализации и некоторых других образований их дифференцированность по этим параметрам в ряде случаев возрастает.

При поиске и разведке месторождений графита геофизическими методами объекты исследований целесообразно представлять ФГМ в виде горизонтально, наклонно и вертикально залегающих пластов, различающихся по протяженности и мощности. Следует считать, что такие залежи обладают повышенной электропроводностью, поляризуемостью, пониженной теплопроводностью и изменчивыми относительно различных по составу вмещающих образований величинами плотности, магнитной восприимчивости, скоростей распространения упругих колебаний и естественной радиоактивности. С учетом таких особенностей следует проводить поисково-разведочные геофизические работы преимущественно комплексом электроразведочных методов с использованием естественного и вызванных электрических полей, различных модификаций электрического каротажа с ограниченным привлечением других видов геофизических исследований (см. табл. 2).

Отмеченные и некоторые другие особенности изменения физических свойств, а также приуроченность графитоносных залежей к определенным геологическим образованиям, нередко "отражающимся" в геофизических полях, являются благоприятными физико-геологическими предпосылками для применения геофизических методов в поисково-разведочной практике [23].

При поиске месторождений геофизические методы обеспечивают решение различных задач (см. табл. 2). Выявление площадей развития графитоносных образований и оценку размеров и глубин залегания продуктивных толщ рекомендуется выполнять с помощью электроразведки, кото-

рая для этого успешно применяется в СССР и за рубежом [39]. Так, выявление графитоносных образований в ФРГ и Индии преимущественно выполнялось электроразведкой (ЕП и др.), а на месторождении Рам-Джангл (Австралия) успешно использовано электромагнитное зондирование.

Различные модификации электроразведки обеспечивают эффективное решение конкретных геологических задач, с учетом чего рекомендуется комплексировать ДИП-А (ДИП), МСГ (на постоянном токе) и ЕП. При этом ДИП-А (ДИП) призван фиксировать высокопроводящие графитоносные образования при наличии высокоомной вскрыши, а МСГ — при наличии в разрезе низкоомных вскрышных горизонтов. Места выходов проводящих объектов непосредственно под рыхлые отложения фиксируются аномалиями ЕП.

При общем поиске достаточно крутопадающие линзо- и пластообразные тела графита и графитизированных пород, перекрытые рыхлыми отложениями незначительной мощности выделяются и прослеживаются методом ЕП. Заверку аномалий ЕП рекомендуется проводить по данным СЭП и ВП, а распространение продуктивных пород на глубину оценивать методами ВЭЗ и ВЭЗ-ВП. Над субгоризонтально залегающими линзообразными телами графита аномалии ЕП в ряде случаев не очень выразительны и к их выявлению целесообразнее привлекать ВЭЗ и различные виды ЭП.

При детальном опосковании требуется достаточно надежное оконтуривание продуктивных тел. При линзо- и пластообразной морфологии последних и достаточно крутопадающем залегании под незначительными по мощности рыхлыми отложениями эта задача должна решаться преимущественно методами ЭП, так как данные ЕП в этих условиях менее точны, а их получение более трудоемко.

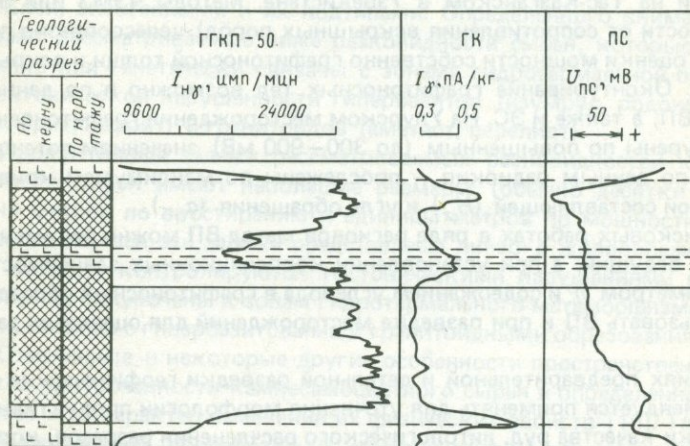
На подстанции детального поиска геофизические методы рекомендуется применять для выделения продуктивных тел и выяснения особенностей их строения и залегания (см. табл. 2). Решение этих задач должно предусматривать разбраковку аномалий, связанных с графитоносными телами, и нередко с тяготеющими к ним зонами сульфидного, медного, никелевого, свинцового оруденения и залежами антрацита. Эти зоны и залежи также имеют повышенную электропроводность, но в отличие от графитоносных тел более четко дифференцированы от вмещающих пород по  $\sigma$ ,  $\kappa$  и  $\nu$  [36]. Наличие над высокопроводящими зонами аномалий по этим параметрам обычно свидетельствует о бесперспективности на данных участках детальных поисковых работ для выделения графитоносных тел.

В тех случаях, когда проводящие тела выходят непосредственно под рыхлые отложения и фиксируются аномалиями ЕП, целесообразно применять сейсморазведку МПВ. При раздельном картировании графитоносных образований и сульфидного оруденения следует обратить внимание на эффекты нелинейной электропроводности и спада раннестадийных (начиная с десятков миллисекунд) потенциалов ВП.

Для выделения продуктивных образований рекомендуется комплексировать ряд геофизических методов и преимущественно различные моди-

фикации электроразведки (см. табл. 2). Получение характерных для высокопроводящих тел аномалий ДИП, а также отсутствие на тех же участках аномалий по данным МСГ свидетельствуют о присутствии в перекрывающей толще высокоомного экрана, препятствующего дальнейшим исследованиям методами постоянного тока. Наличие высокопроводящего объекта по МСГ и отсутствие его по материалам ДИП указывают на присутствие в разрезе вскрыши достаточно низкоомного горизонта и дальнейшие поиски целесообразно выполнять методами электроразведки, использующими

а



б

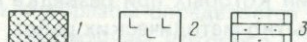
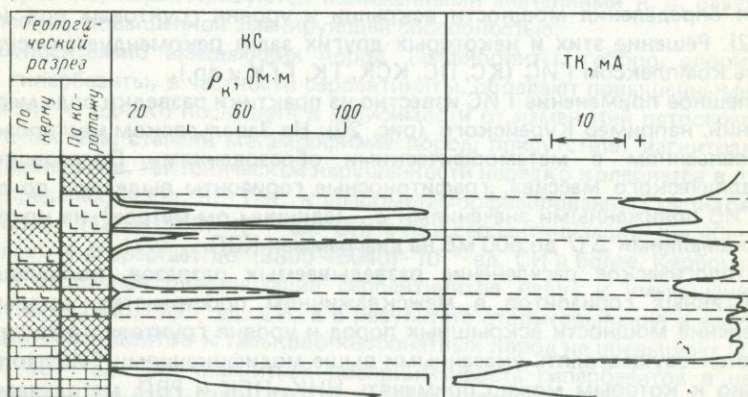


Рис. 20. Результаты ГИС по скв. 232 (а) и 108 (б) Курейского графитового месторождения (по М.Т. Савельеву).

1 — графит; 2 — габбро-долериты; 3 — мрамор

переменные электромагнитные поля. Для выявления залежей графита на глубинах до 250—400 м и более следует привлекать и МПП с мощными источниками питания.

При поисково-оценочных работах рекомендуемый комплекс геофизических методов (см. табл. 2) обеспечивает оконтуривание продуктивных тел и определение элементов их залегания, а также мощности вскрышных пород. Для решения задачи по оконтуриванию графитоносных тел нужно привлекать электроразведку МЗТ на переменном или постоянном токе в зависимости от характера вскрышных пород, которую успешно использовали с этой целью на ряде месторождений, в том числе, согласно Пирмухамедову, и на Тас-Казганском в Узбекистане. Методы ЧЭМЗ или ВЭЗ (в зависимости от сопротивления вскрышных пород) целесообразно применять для оценки мощности собственно графитоносной толщи и вскрышных пород. Оконтуривание графитоносных тел возможно и по данным МПП, ВЭЗ-ВП, а также и ЭС. На Улурском месторождении графитоносные тела оконтурены по повышенным (до 300—900 мВ) значениям потенциалов ЕП, а по данным радиокип — прослежены по максимумам кривых вертикальной составляющей ( $H_z$ ) и угла обращения ( $\alpha_{об}$ ).

При поисковых работах в ряде регионов метод ВП можно рекомендовать и как ведущий, а при установлении корреляционных зависимостей между параметром  $\eta$  и содержанием углерода в графитоносных образованиях использовать ВП и при разведке месторождений для оценки их запасов.

На стадиях предварительной и детальной разведки геофизические методы рекомендуется применять для уточнения морфологии продуктивных толщ, оценки качества руд, литологического расчленения разрезов, корреляции в межскважинном пространстве графитоносных горизонтов, а также для определения мощности вскрыши и уровня грунтовых вод (см. табл. 2). Решение этих и некоторых других задач рекомендуется осуществлять комплексом ГИС (КС, ПС, КСК, ТК, ГГК и др.).

Успешное применение ГИС известно из практики разведки ряда месторождений, например Курейского (рис. 20). На Завальевском месторождении, связанном с метаморфическими образованиями Приазовского кристаллического массива, графитоносные горизонты выделены по данным ГИС пониженными значениями  $\rho_k$  (единицы ом-метров) на кривых КС и аномалиями  $\Delta U$  до 500 мВ на диаграммах КЭП.

Литологическое расчленение разведываемых разрезов, корреляцию продуктивных горизонтов в межскважинном пространстве, детальное определение мощности вскрышных пород и уровня грунтовых вод рекомендуется осуществлять указанными выше модификациями ГИС, дополнительно к которым можно применять ННК, НГК и РВП, методические особенности использования которых при разведке месторождений графита требуют постановки опытно-методических работ.

## КАМНИ САМОЦВЕТНЫЕ

Рассматриваемые виды камней представлены разнообразными минералами, их агрегатами и горными породами, подразделяющимися [26] на собственно цветные (самоцветные) и технические камни, первые из которых включают в себя ограночные (драгоценные, полудрагоценные) и поделочные камни. К описываемым камням близки и некоторые разновидности облицовочных. Различные виды самоцветных камней характеризуются достаточно специфическими условиями образования, из-за чего они связаны, как показано Е.Я. Киевленко и Н.Н. Сенкевичем, с широким кругом генетических типов месторождений — эндогенными, метаморфогенными, экзогенными и их подтипами. Определенного внимания заслуживают рассматриваемые ниже разновидности сырья, которые пространственно или генетически связаны с зонами гидротермальной проработки и тектонической нарушенности гипербазитов (изумруд, родонит, тальково-хлорит, нефрит) и гранитоидов (аметист, переливт).

Продуктивные залежи рассматриваемых разновидностей камнесамоцветного сырья имеют небольшие размеры (обычно десятки и первые сотни метров по простиранию и единицы метров по мощности). В большинстве случаев эти залежи представлены линзо- и жиллообразными телами, которые контролируются тектоническими нарушениями различных порядков, приурочены к зонам гидротермального метаморфизма и генетически связаны с гипербазитовыми и гранитоидными образованиями.

Отмеченные и некоторые другие особенности пространственно-генетической приуроченности камнесамоцветного сырья в определенной степени влияют и на характер изменения их физических свойств [15]. Так, в зонах гидротермальной проработки и тектонической нарушенности породы, как правило, характеризуются пониженными значениями  $k$ ,  $\rho$ , разуплотненностью, повышенной эманулирующей способностью.

Относительно вмещающих пород (амфиболиты, габбро, диориты и др.) гипербазиты, в частности серпентиниты, обладают повышенными значениями  $k$ , однако последняя в зависимости от изменений петрографического состава, степени метаморфизма пород, присутствия магнитоактивных минералов, тектонической нарушенности нередко колеблется в широких пределах (табл. 5). Так,  $k$  слабометаморфизированных перидотитов варьирует  $(130-1260) \cdot 10^{-5}$  ед. СИ, а при серпентинизации (на 40—50 % и более)  $k$  возрастает до  $(3800-5040) \cdot 10^{-5}$  ед. СИ и более. Карбонатизация и вторичная оливинизация серпентинитов ведут к уменьшению  $k$  до  $(1900-2500) \cdot 10^{-5}$  ед. СИ, а в результате отальковывания и карбонатизации гипербазитов  $k$  тальково-карбонатных пород не превышает  $(750-3800) \cdot 10^{-5}$  ед. СИ. Магнитная восприимчивость гипербазитов в целом изменяется от  $(250-380) \cdot 10^{-5}$  до  $(2500-5040) \cdot 10^{-5}$ , реже до  $12600 \times 10^{-5}$  ед. СИ, что главным образом определяется присутствием аксессуарного магнетита, между содержанием которого и магнитной восприимчивостью гипербазитов в большинстве случаев устанавливаются четкие корреляционные зависимости.

Некоторые разновидности гипербазитов (декоративные змеевики

Таблица 5. Средние значения магнитной восприимчивости и плотности некоторых разновидностей камнесамоцветного сырья и вмещающих образований

Генетическая приуроченность	Минералы и породы	$\alpha$ , $10^{-5}$ ед. СИ	$\sigma$ , г/см <sup>3</sup>
Гипербазитовая	Гипербазиты:		
	перидотиты, серпентинизированные дуниты	1210	2,72
	карбонатизированные серпентиниты	2020	2,42
	тальково-оливиновые породы	2580	2,78
	серпентиниты	3600	2,58
	талькиты	—	2,77
	Амфиболиты, габбро и диориты	21—35	2,68—2,93
	Изумрудноносные апогипербазитовые слюдиты	16	2,82
	Неизумрудноносные аподиоритовые слюдиты	29	2,76
	Родонит	250	3,60—3,76
	Кварц-родонитовые породы:		
	SiO <sub>2</sub> > 50 %	Не более 130—140	< 3,20
	родонит > 70 %	> 190	> 3,40
тальково-хлорит	60, иногда до 6300*	2,74	
Гранитоидная	Гранитоиды неизменные	50—315, иногда до 1260*	2,65
	Гранитоиды трещиноватые	< 12	—
	Гранитоиды пегматоидные	10	2,62
	Аметисты	< 12	2,65
	Переливт (агат-переливт)	< 12	—

\*При повышенном содержании магнетита.

и др.) имеют пониженные (в 2 раза и более) значения  $\kappa$  по сравнению с неизменными серпентинитами. Это обусловлено частичным разложением магнетита при метаморфизме и перераспределением его в породах. Так, например, на одном из месторождений Среднего Урала декоративные змеевики характеризуются  $\kappa_{\text{ср}} = 4400 \cdot 10^{-5}$  ед. СИ, а неизменные серпентиниты —  $9450 \cdot 10^{-5}$  ед. СИ.

Отдельные разновидности камнесамоцветного сырья в большинстве случаев обладают невысокими  $\kappa$ . Магнитные свойства, например, родонитовых пород определяются соотношениями диамагнитного кварца и парамагнитного родонита, из-за чего  $\kappa$  этих пород с преобладанием первого (SiO<sub>2</sub> > 50 %) не более 130—140  $\cdot 10^{-5}$  ед. СИ, а с преобладанием родонита (последнего > 70 %) превышает 190  $\cdot 10^{-5}$  ед. СИ. В Восточном Саяне размещение тел нефрита контролируют метасоматические породы, карбонатизированные разности которых обычно слабомагнитны. Плотные анти-

горитовые серпентиниты обладают здесь, согласно Р.С. Замалетдинову, повышенными значениями  $k$ ; катаклазированные породы, слагающие нефритоносные зоны, характеризуются широкими пределами изменения  $k$ , а вмещающие апогаббровые и апогранитные метасоматиты, как правило, обладают более низкими величинами  $k$ , чем продуктивные нефритоносные гипербазиты.

У гипербазитов, вмещающих пород и отдельных разновидностей камнесамоцветного сырья  $\sigma$  варьирует в широких пределах из-за различий в многофазности их метаморфических преобразований и ряда других факторов. Наиболее высокими значениями  $\sigma$  из рассматриваемых пород и минералов характеризуется родонит — до  $3,76 \text{ г/см}^3$  (см. табл. 5).

Различают относительно низкоомные ( $\rho \approx 300 \div 800 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ ) гипербазитовые породы, характеризующиеся интенсивным проявлением метаморфизма, и более высокоомные ( $\rho$  от  $1200-4000 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ ), для которых характерны их слабая метаморфизованность и отсутствие жильных комплексов. При отлакковании гипербазитовых образований  $\rho$ , как правило, возрастает, а при оливинизации — уменьшается. По сравнению с вмещающими образованиями повышенные значения  $\rho$  обычно имеют талькохлоритовые породы, кварцевые и изумрудоносные слюдитовые жилы. В экзоконтактных зонах гранитных массивов слюдиты обладают и повышенной эманулирующей способностью [до  $(110-260) \cdot 10^3 \text{ Бк/м}^3$ ] преимущественно радоновой природы.

Физические свойства гранитоидных образований и связанных с ними некоторых разновидностей камнесамоцветного сырья, а также вмещающих пород изучены недостаточно полно, однако выяснено, что эти свойства ( $k$ ,  $\sigma$ ,  $\rho$ , скоростные характеристики, радиоактивность) в немалой степени определяются химико-петрографическими неоднородностями пород, степенью их метаморфизма, сохранности (тектоническая нарушенность, выветрелость) и т.д. Граниты характеризуются в целом относительно невысокими значениями  $k$  [ $(50-315) \cdot 10^{-5}$  ед. СИ]. Обогащенные магнетитом гранитоиды более магнитоактивны ( $k$  до  $1260 \cdot 10^{-5}$  ед. СИ и более), а тектонически нарушенные разности этих пород, как правило, обладают весьма невысокими значениями  $k$  ( $12 \cdot 10^{-5}$  ед. СИ и менее). В пределах тектонически ослабленных зон уменьшается и  $\rho$  гранитоидов (до 2—10 раз) по сравнению с неизменными породами. Относительно вмещающих образований чистые разновидности кварца и обогащенные им породы обычно характеризуются пониженными величинами электропроводности.

В аспекте поиска и разведки месторождений рассматриваемой разновидности нерудного сырья геофизическими методами искомые объекты следует аппроксимировать ФГМ в виде тонких пластов незначительного простирания и малой мощности в условиях горизонтального, наклонного и вертикального их залегания, приуроченности к зонам тектонической нарушенности и гидротермального метаморфизма. Такие зоны являются одним из поисковых признаков и, как правило, характеризуются пониженными значениями магнитной восприимчивости, электрического сопротивления, плотности, повышенной эманулирующей способности и измене-

ниями ряда других физических параметров. В связи с отмеченными особенностями следует комплексировать при поисково-разведочных работах магниторазведку с различными модификациями электропрофилирования, привлекая в необходимых случаях эманационную и литохимическую съемки, высокоточную гравиразведку, сейсморазведку, радиоволновое и акустическое просвечивание, метод ПЭМ и некоторые модификации ГИС (см. табл. 2).

Особенности геологического строения и изменения физических свойств продуктивных и вмещающих образований определяют методику геофизических исследований, вопросы их комплексирования между собой и с геолого-геохимическими методами для отдельных стадий и подстадий геологоразведочных работ (см. табл. 2).

При поиске месторождений камнесамоцветного сырья геофизические методы обеспечивают решение различных геологических задач, но в ряде инструктивно-методических пособий соответствующие рекомендации отсутствуют или недостаточны. Некоторые из решаемых геофизикой задач (выявление массивов, тектонических нарушений и др.) в целом общеизвестны и разработаны. Ряд задач (оценка перспективности комплексов, залежей, оценка их качества и др.), а также приемы "разбраковки" геофизических аномалий во многом специфичны для отдельных подстадий поиска, конкретных видов описковываемого сырья и особенностей геологического строения изучаемых разрезов [20].

Неоднородность проявления метаморфизма в пределах массивов гипербазитов, вмещающих месторождения камнесамоцветного сырья, с одной стороны, затрудняет их оконтуривание, а с другой — позволяет применять магнито-, грави- и электроразведку для детального картирования с выделением наиболее перспективных участков. Гранитоидные образования в большинстве случаев достаточно четко картируются этим же комплексом методов; кроме того, известны многочисленные примеры применения для этого радиометрии.

Для различных видов камнесамоцветного сырья актуально выявление и прослеживание зон тектонических нарушений, включая и зоны трещиноватости, пневматолито-гидротермальных изменений пород и др. Для решения этих задач, а также картирования полей развития жильных образований и дайковых тел основного и кислого составов (с ними ассоциируют рассматриваемые виды камнесамоцветного сырья, жадеит, родингит и др.) необходимо использовать различные геофизические методы и в первую очередь магниторазведку в комплексе с электроразведкой (КЭП, СЭП, МСГ, ДЭП и др.). По полученным данным строятся карты и графики параметров, на которых участки различных тектонических нарушений и жильные поля обычно отмечаются пониженными значениями  $\Delta Z$  и  $\rho_k$ .

На Среднем Урале тектонические нарушения в гипербазитах, нередко контролируемые зоны развития слюдитов, в том числе изумрудоносных, как правило, сопровождаются интенсивным метаморфизмом пород, из-за чего отмеченные нарушения и зоны обычно выделяются пониженными значениями поля  $\Delta Z$ . Поля развития слюдитов, особенно в экзоконтактовых зонах с интрузивными телами, нередко сопровождаются эманационными (эманометрическими) аномалиями.

Тектонические нарушения в пределах развития тальково-хлоритовых залежей, а также часто сопровождающие их дайки гранодиоритов четко фиксируются линейно вытянутыми минимумами  $\rho_k$  и  $\Delta Z$ , "отбраковка" которых от других аномалиеобразующих объектов возможна и без проверки их горными выработками.

В зонах тектонических нарушений гранитоидов наблюдается уменьшение сопротивления пород, поэтому такие нарушения фиксируются различными модификациями электропрофилеирования в виде линейно вытянутых участков повышенной электропроводности пород. Так, на месторождении аметиста Ватиха (Средний Урал) минерализованные зоны трещиноватости в гранитах отмечены (рис. 21) достаточно отчетливыми минимумами  $\rho_k$  (до 1200 Ом·м) и  $\Delta Z$  (до -40 мА/м) при значениях этих же параметров порядка 4000—7000 Ом·м и 40—80 мА/м над неизменными гранитами. К прослеживанию тектонических нарушений и изучению глубин из проникновения привлекают материалы ГИС и электроразведку в модификации МЭК. Для решения отмеченных задач целесообразно опробовать электроразведку РВП и ГИС в модификации АК.

На перспективно агатоносных площадях выделение зон тектонических нарушений при уверенной коррелируемости аномалий  $\rho_k$  между профилями достаточно надежно, однако в ряде случаев необходима "разбраковка" этих аномалий. Для таких целей, по данным Л.И. Елизарова, применимо круговое профилирование трехэлектродными установками (КруЭП-ЗЭУ). Над тектонически нарушенными зонами полярные диаграммы обычно имеют характерный вид, присущий пластовым телам, поэтому линейно вытянутыми минимумами  $\rho_k$  с помощью метода КруЭП-ЗЭУ выделяются возможно агатоносные зоны в пределах тектонических нарушений и пластообразных ксенолитов гнейсов и амфиболитов. Дополнительная "разбраковка" аномалий КруЭП-ЗЭУ возможна по результатам работ ПЭМ и данным эманационной съемки.

Выделение участков развития продуктивных комплексов, пластов, горизонтов, пачек, а в их пределах и отдельных тел, линз, жил в основном должно проводиться по результатам крупномасштабных и высокоточных магнитометрических съемок и электроразведочных работ. Последние применительно к поиску отдельных видов рассматриваемого сырья целесообразно выполнять путем комплексирования отдельных установок электропрофилеирования (см. табл. 2). Грейзеновые образования флогопитового состава изумрудоносных слюдитовых жил характеризуются пониженными значениями  $k$  и повышенными величинами  $\rho$ . Амплитуда аномалий параметров  $A_k$  ( $A_k = \rho_{k \max} / \rho_{k \min}$ ) над ними обычно порядка 1,5—5,0 отн. ед., что лишь несколько выше интенсивности соответствующих аномалий над кварц-пегматитовыми жилами и дайками гранитов, из-за чего "разбраковка" электроразведочных данных в большинстве случаев возможна лишь горными выработками. На Среднем Урале изумрудоносные площади более "насыщены" жильными образованиями, чем безрудные участки гипербазитов, что нередко позволяет "разбраковывать" здесь опосредуемые площади по частоте "встречаемости" аномалий и без проведения горных работ. При поисковых работах в отдельных случа-

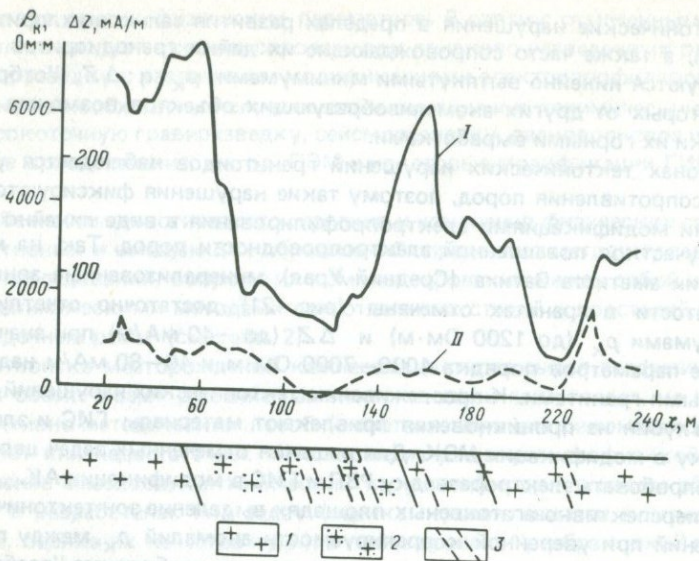


Рис. 21. Результаты геофизических работ на месторождении аметистов (по В.Н. Костецкому).

Графики: I —  $\rho_k$ , II —  $\Delta Z$ . Граниты: 1 — биотитовые, 2 — перматонидные; 3 — зоны тектонической трещиноватости

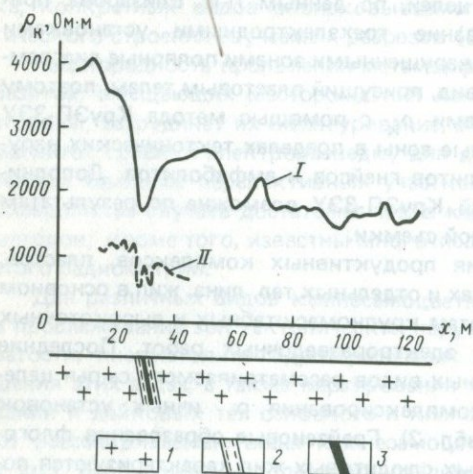


Рис. 22. Результаты электроразведки СЭП на Шайтанском месторождении переливта (по Л.И. Елизарову).

Графики МСГ: I — АВ-600 м и MN = 5 м, II — АВ-60 м и MN = 1 м; 1 — гранитогнейсы; 2 — зоны тектонической трещиноватости; 3 — кварцевые жилы с переливтом

ях получены положительные результаты по данным литогеохимической съемки, фиксировавшей над слюдитами ореолы рассеивания Ве и F, в связи с чем представляется целесообразным опробование нейтронно-активационной съемки на фтор ( $\text{НАС.}^{16}\text{N}$ ).

Относительно вмещающих образований породы тальково-хлоритовых жил также обладают повышенными величинами  $\rho$ , вследствие чего они выделяются как маломощные пластовые неоднородности с интенсивностью аномалий параметра  $A_k$  над ними около 2,5–4 отн. ед. Примерно

такова же амплитуда аномалий этого параметра над дайками основного состава и различными неоднородностями гипербазитов и перекрывающих образований, однако дайки гранодиоритов обычно совпадают с тектоническими нарушениями, которые отмечают линейно вытянутыми аномалиями  $\Delta Z$  отрицательного знака, что не затрудняет их соответствующую "разбраковку".

Для выделения нефритоносных образований наряду с электроразведкой КЭП и ДЭП необходимо привлекать и литогеохимическую съемку. Фиксируемые последней ореолы повышенных концентраций Са, Mg и Na в габброидах и гранитоидах указывают, как показано Р.С. Замалетдиновым, на возможную нефритоносность контактирующих с ними серпентинитов.

Залежи агат-переливта обычно тяготеют к зонам тектонических нарушений, которые в большинстве случаев отмечаются пониженными  $\rho_k$ . При детальном электроразведочных работах, особенно с микроустановками малых размеров, возможно выделение на фоне минимумов  $\rho_k$  и локальных максимумов этого параметра (рис. 22), непосредственно отмечающих кварцевые жилы. Линзы кварц-родонитовой породы выделяются среди кварц-серицитовых сланцев локальными максимумами  $\rho_k$ . Для отбраковки этих аномалий от аналогичных им над кварцитами и зонами интенсивного окварцевания вмещающих пород возможно (учитывая повышенную  $\sigma$  родонита) эффективной окажется детальная гравиразведка по отдельным профилям.

Оценка перспективности выделенных комплексов и тел на отдельные виды камнесамоцветного сырья, как правило, осуществима лишь собственно геологическими методами, однако в некоторых случаях определенной информативностью обладает и геофизика. Так, 60—70 % и более участков разреза, обогащенных окисью бериллия, достаточно четко отмечаются по данным ГКН, что позволяет рекомендовать данную разновидность ГИС для выделения обогащенных Ве слюдитов, потенциально изумрудоносных. Подобная задача может решаться и по результатам каппаметрических исследований образцов пород, так как  $k$  и  $\sigma_{ср}$  потенциально изумрудоносных апогипербазитовых слюдитов порядка  $16 \cdot 10^{-5}$  ед. СИ и  $2,82 \text{ г/см}^3$ , а непродуктивных аподиоритовых слюдитов, образующихся по дайкам основного состава, соответственно около  $29 \cdot 10^{-5}$  ед. СИ и  $2,76 \text{ г/см}^3$ . Каппаметрию можно использовать и для выделения отдельных блоков родонитовых залежей с различными соотношениями кварца и родонита. При поиске некоторых видов камнесамоцветного сырья можно привлекать методы (каппаметрия скважин, геотерморазведка, акустическое просвечивание и др.), неприменяемые пока в геологической практике, а для оценки их геологических возможностей необходимо проводить соответствующие опытно-методические работы.

При предварительной и детальной разведке геофизические методы целесообразно использовать лишь для определения элементов залегания продуктивных тел. Решение этой задачи для камнесамоцветного сырья не имеет особой специфичности, за исключением того, что соответствующий рекомендуемый комплекс наземных методов включает только магнито-

и электроразведку. Оценка геологических возможностей других геофизических методов связана с необходимостью проведения опытно-методических работ. При оценке качества камнесамоцветного сырья геофизику рекомендуется применять лишь на месторождениях родонита, где по результатам каппаметрии можно выделять блоки продуктивных пород с различным содержанием кварца и родонита без их раскалывания. При разведке изумрудоносных разрезов и выделении в них продуктивных горизонтов определенной информативностью обладают ГНК и каппаметрия.

## КАМНИ СТРОИТЕЛЬНЫЕ

В качестве строительного камня обычно применяют изверженные (граниты, гранодиориты, габбро, диабазы, базальты и др.), метаморфические (гнейсы, кварциты и др.) и скальные осадочные горные породы. После необходимой механической обработки они используются в строительстве в виде штучных (брусчатка, поребрик, облицовочные плиты, стеновые блоки и др.), а также рваных и дробленых (бут, щебень, крошка) камней. Отдельные разновидности изверженных и метаморфических пород являются сырьем для каменного литья и в незначительном объеме кровельными и кислотоупорными материалами [26]. Камень строительный осадочных пород нами не рассматривается.

Месторождения камня изверженных пород имеют широкое распространение в платформенных (щиты, выступы) и складчатых областях. Представлены они как относительно малоразмерными (дайки, штоки и др.), так и весьма крупными (лакколиты и батолиты) телами. Месторождения строительного камня метаморфических пород с различными размерами и формами залежей чаще приурочены к областям древней складчатости, а в их пределах — к зонам регионального или контактового метаморфизма.

Изверженные и метаморфические породы в целом обладают повышенными значениями  $\rho$ ,  $\nu$  и  $\sigma$ . Характер изменения этих параметров, а также  $\kappa$ ,  $I_{\gamma}$  и  $I_{n\gamma}$ , теплофизических и физико-механических свойств нередко значительно варьирует [36] в зависимости от фациально-формационной принадлежности, структурно-тектонической приуроченности пород, неоднородностей их петрографического состава, степени нарушения и т. д.

Для всей группы изверженных и метаморфических пород параметр  $\rho$  изменяется в широких пределах (от 100—500 до  $10^5$  Ом·м и более), причем изверженные породы в целом обладают более высокими значениями  $\sigma$ , чем метаморфические, а последние по электрическим (и некоторым другим) параметрам являются электрически анизотропными образованиями. Различия по  $\rho$  неизменных и разрушенных разновидностей рассматриваемых пород и отличия их по сопротивлению от перекрывающих образований в ряде случаев благоприятствуют применению различных модификаций электроразведки. Так, по данным ВЭЗ на ряде гранитоидных объектов Свердловской обл. неизменные гранитоиды отмечаются значе-

ниями  $\rho_k$  обычно в пределах 4000—15 000 Ом·м, слабоизмененные — 2000—3500 Ом·м и рыхлые отложения — от 20—50 до 800 Ом·м.

По значениям параметра  $v$  наиболее низкоскоростными (100—700 м/с), как правило, являются разрушенные разности изверженных и метаморфических образований. В ненарушенных и анизотропных метаморфических породах величины  $v$  обычно возрастают (до 600 м/с), особенно вкост напластования. У изверженных пород скорость достигает 7 км/с и более, причем  $v$  у интрузивных пород обычно более высокая, чем у эффузивных. В целом же существенно магматические породы, как и плотные осадочные, имеют более узкие пределы изменения скорости по сравнению с метаморфическими образованиями. Величины  $\sigma$  у описываемых пород обычно значительные (до 2,8—3,0 г/см<sup>3</sup> и более). Отдельные разновидности изверженных и метаморфических пород характеризуются широкой дифференциацией по  $k$ , особенности изменения которой рассмотрены рядом исследователей [36].

Залежи изверженных и метаморфических пород, потенциально перспективных для использования в качестве строительного камня, при их опосковании и разведке геофизическими методами следует представлять ФГМ в виде крупно- и среднеразмерных тел различной формы (шар, цилиндр, призма, параллелепипед и др.) и условий залегания. Такие тела отличны в большинстве случаев от вмещающих комплексов пород по электропроводности, скоростям распространения упругих колебаний, плотности, магнитной восприимчивости, причем особенности дифференциации этих и некоторых других физических свойств должны конкретизироваться для типовых геолого-геофизических разрезов. В связи с этим оправдано включение в комплекс поисково-разведочных геофизических исследований магниторазведки и различных модификаций электроразведки (ВЭЗ, СЭП и др.), а также использование грави- и сейсморазведки, электрокаротажа, радиоволнового и акустического просвечиваний (см. табл. 2).

Различия рассматриваемых и перекрывающих пород по отмеченным и некоторым другим параметрам, а также "отображение" залежей, особенно крупных, достаточно характерными неоднородностями некоторых геофизических полей и "выраженность" в последних некоторых геологических образований, контролирующих размещение и пространственную локализацию изверженных и метаморфических комплексов, создают благоприятные физико-геологические предпосылки для применения геофизических методов [3, 23]. Рекомендуемая комплексность геофизических исследований рассматривается ниже для решения основных геологических задач с учетом существующей стадийности геологоразведочных работ (см. табл. 2).

На различных подстадиях поисковых работ геофизические методы, в первую очередь магнито- и электроразведку, рекомендуется применять для выявления массивов изверженных и метаморфических пород, выяснения особенностей их строения, оконтуривания месторождений строительного камня и решения некоторых других задач (см. табл. 2). Так, по данным магниторазведки, в ТаджССР аномалиями  $\Delta Z$  в 1600—

2800 мА/м выявлено и оконтурено несколько массивов габбровых пород, за пределами которых интенсивность поля  $\Delta Z$  над вмещающими образованиями уменьшается до 1200 мА/м и менее. На ряде площадей Приморья магнито- и электроразведка (СЭП, ВЭЗ) успешно использованы для оконтуривания месторождений габбро-диоритов и гранодиоритов, установления контактов продуктивных и вмещающих комплексов пород и оценки элементов их залегания. Подобные же задачи решены по материалам магнито- и электроразведки (ВЭЗ) на некоторых площадях развития диабазов и базальтов в ФРГ, а также сланцев в районе Самарканда [3]. Электроразведкой ВЭЗ по сети 100×100 м на одном из месторождений Забайкалья среди менее сохранных пород выявлен участок развития монокристаллических гранитов и оценена их мощность, не превышающая здесь глубины разведки и отработки продуктивного комплекса.

При предварительной и детальной разведке рассматриваемых месторождений геофизические методы рекомендуется применять для определения мощности вскрышных пород и продуктивных комплексов (последних в тех случаях, когда их вертикальная мощность меньше глубин разведки и проектируемой отработки), а также для оценки блочности и трещиноватости продуктивных толщ, оценки сырьевых запасов строительного камня (см. табл. 2). Наиболее результативны при этом электроразведочные работы, которые необходимо проводить с большей точностью и детальностью, чем на поисковых стадиях [3].

Методом ВЭЗ на месторождении гранитов в Южном Казахстане определены мощности вскрышных пород и продуктивного гранитного штока, выделены крепкие граниты среди их разрушенных разностей. На большинстве кривых ВЭЗ отмечены зоны пониженных значений  $\rho_k$ , соответствующие горизонтам сильнотрещиноватых и разрушенных гранитов. Эти горизонты уверенно прослежены по площади с использованием значений  $\rho$ , полученных на разносах ВЭЗ 40, 160 и 400 м. Так, в районе ВЭЗ 115 и 116 (рис. 23) с увеличением разносов АВ/2 значения  $\rho_k$  заметно возрастают, свидетельствуя об увеличении сохранности гранитов с глубиной. Вблизи ВЭЗ 11 и 12 по геофизическим данным установлено развитие разрушенных и измененных гранитов, что подтверждено последующим бурением. Электроразведка ВЭЗ по сети 100×50 м успешно применена для выявления неоднородностей в толще одного из гранитных массивов Забайкалья и определения мощности наименее трещиноватых гранитов.

На месторождении габбро-диоритов в Приморье электроразведка (СЭП, ВЭЗ) в комплексе с магниторазведкой использована для установления и прослеживания контактов изверженных комплексов со сланцами и алевролитами, зон развития трещиноватых разностей в толще габбро-диоритов, а также для уточнения мощности рыхлых вскрышных пород. По данным ВЭЗ и СЭП на разных участках месторождения выявлены зоны пониженных значений  $\rho_k$ , соответствующие ослабленным и разрушенным породам, что подтверждено бурением. С помощью магниторазведки установлены контакты габбро-диоритов с вмещающими породами и намечены участки развития ослабленных габбро-диоритов. Контакт

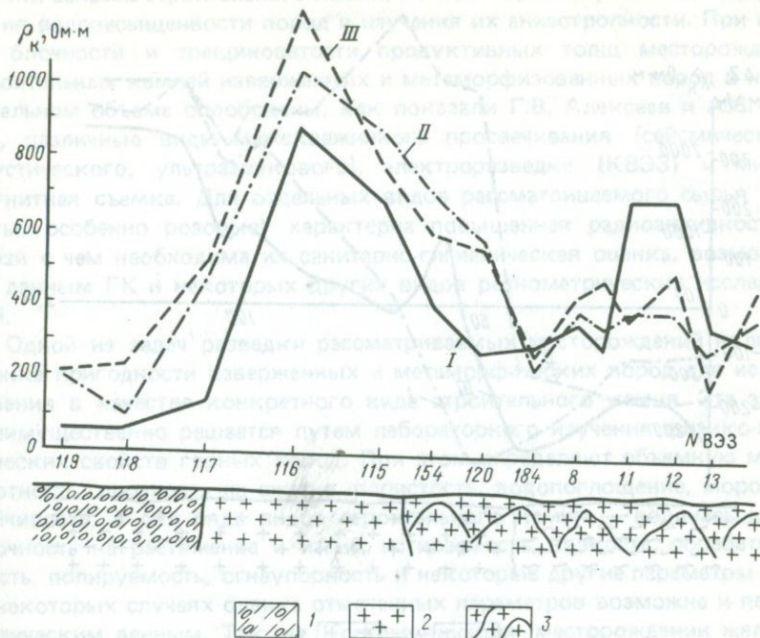


Рис. 23. Результаты электроразведки на месторождении гранитов в Южном Казахстане [3].

Кривые  $\rho_k$  с разносами АВ (в м): I — 40, II — 160, III — 400; 1 — породы, вмещающие залежь гранитов; граниты: 2 — монолитные, 3 — разрушенные

сланцев с габбро-диоритами отмечен и по материалам электропрофилеирования (рис. 24).

На одном из месторождений гранодиоритов в Приморье электроразведка (СЭП, ВЭЗ) использована для прослеживания зон тектонических нарушений, разграничивающих отдельные блоки крепких изверженных пород, выявления и оконтуривания участков развития неразрушенных разностей пород и определения мощности вскрыши. Решение аналогичных задач методами СЭП и ВЭЗ успешно осуществлено и на месторождении сланцев в районе Самарканда [3].

При разведке месторождений строительного камня изверженных и метаморфических пород электроразведка ВЭЗ в ряде случаев позволяет уверенно выделять участки с минимальной мощностью вскрыши. Определенный опыт таких работ накоплен на ряде месторождений и проявлений Свердловской обл. (Монетное, Озерный, Нижняя Шайтанка и др.). При этом по данным параметрических ВЭЗ установлены достаточно широкие пределы изменения  $\rho_k$  у глинистых, глинисто-песчанистых и дресвяно-щебнистых вскрышных пород (от 20—50 до 800 Ом·м) в зависимости от содержания в них глинистой фракции и уровня грунтовых вод (УГВ). Дресвяно-щебнистые отложения, залегающие выше УГВ,

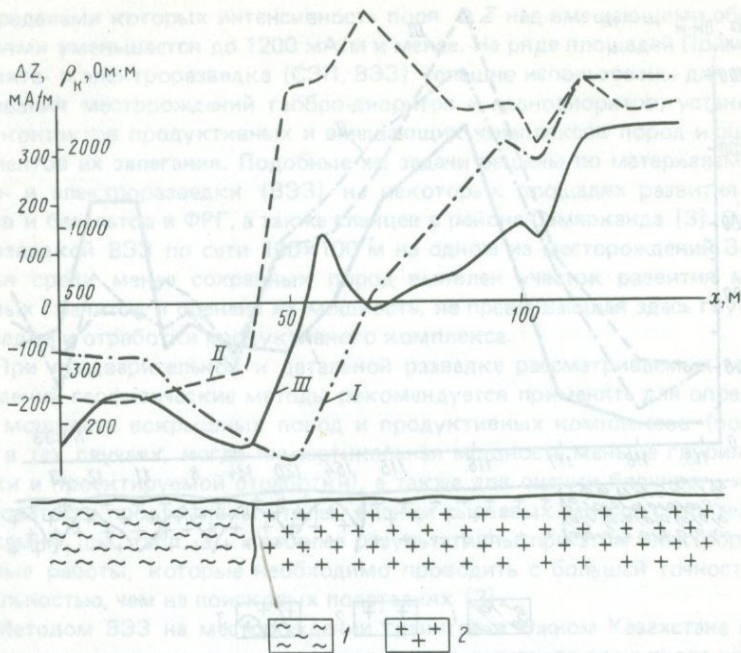


Рис. 24. Результаты магнито- и электроразведки на месторождении габбро-диоритов Приморья [3].

I – кривая  $\Delta Z$ ; графики  $\rho_k$  на разносах АВ: II – меньшем, III – большем; 1 – сланцы; 2 – габбро-диориты

нередко имеют здесь и более высокое  $\rho_k$  (до  $15 \cdot 10^3$  Ом·м), чем неизменные граниты, сопротивление которых также зависит от положения УГВ. Рыхлая и твердая вскрыши разделяются на кривых ВЭЗ только при соотношении их мощностей более 3–5; при меньших соотношениях однозначно выделяется только рыхлая глинистая вскрыша, а залегающие под ней дресва и выветрелые граниты на кривых ВЭЗ не всегда разделяются с подстилающими их неизменными гранитами. Выделяемые по данным ВЭЗ зоны повышенной проводимости могут соответствовать участкам повышенной трещиноватости гранитов и локальным увеличениям мощностей рыхлых отложений.

Для определения мощности продуктивных комплексов и вскрышных пород наряду с наземными геофизическими методами целесообразно применять и ГИС преимущественно различными модификациями ЭК. Для оценки блочности и трещиноватости толщ продуктивных пород рекомендуется привлекать материалы сейсморазведки МОВ, КМПВ, которые успешно использованы при выявлении и изучении зон трещиноватых пород на ряде месторождений строительных камней изверженных пород Украинского щита. Сейсморазведку рекомендуется использовать для

оценки запасов строительного камня, а в некоторых случаях и для определения водонасыщенности пород и изучения их анизотропности. При оценке блочности и трещиноватости продуктивных толщ месторождений строительных камней изверженных и метаморфизованных пород в незначительном объеме опробованы, как показали Г.В. Алексеев и А.С. Ткачев, различные виды межскважинного просвечивания (сейсмического, акустического, ультразвукового), электроразведка (КВЭЗ) и микромагнитная съемка. Для отдельных видов рассматриваемого сырья (граниты, особенно розовые) характерна повышенная радиоактивность, в связи с чем необходима их санитарно-гигиеническая оценка, возможная по данным ГК и некоторых других видов разнометрических исследований.

Одной из задач разведки рассматриваемых месторождений является оценка пригодности изверженных и метаморфических пород для использования в качестве конкретного вида строительного камня. Эта задача преимущественно решается путем лабораторного изучения физико-механических свойств горных пород. При этом определяют объемную массу, плотность, прочность на сжатие, пористость, водопоглощение, морозоустойчивость, а для ряда видов строительного камня — водонасыщение, прочность на растяжение и изгиб, истираемость, вязкость, обрабатываемость, полируемость, огнеупорность и некоторые другие параметры [26]. В некоторых случаях оценка отмеченных параметров возможна и по геофизическим данным. Так, на Костомукшском месторождении железистых кварцитов по материалам ВЭЗ выяснены корреляционные зависимости между  $\rho$  гранитогнейсов и их трещиноватостью и показана возможность определения на основе таких зависимостей эффективной пористости продуктивных пород.

Незначительные объемы геофизических исследований, выполненных при поиске и разведке рассматриваемых месторождений, не позволяют конкретизировать комплексы геофизических методов и особенности проведения работ отмеченными методами для изучения продуктивных толщ строительного камня, одни из которых представлены изверженными породами, другие — метаморфическими. Разработка соответствующих методических рекомендаций связана с необходимостью проведения целенаправленных опытно-методических работ.

## КАРБОНАТНЫЕ ПОРОДЫ

К ним относят известняки, доломиты, мрамор, мел, пресноводную известь (озерный мел, гажа, известняковый туф), а также продукты выветривания карбонатов (доломитовая мука и др.). Основными генетическими типами залежей рассматриваемых пород являются [26] осадочный, метаморфический и коры выветривания с разнообразной морфологией продуктивных толщ — крупные массивы, литолого-фациальные комплексы и отдельные тела различной формы.

Особенности дифференциации физических свойств продуктивных и вмещающих пород отражены в табл. 6. Необходимо также отметить, что

Таблица 6. Физические свойства карбонатных и вмещающих пород платформенных разрезов и горноскладчатых областей

Породы	$\rho$ , Ом·м (при минерализации вод до 3 г/л)	$v$ , км/с	$\sigma$ , г/см <sup>3</sup>	$K$ , 10 <sup>-5</sup> ед. СИ
<b>Продуктивные:</b>				
мраморы и мраморизованные известняки	$10^6 - 10^7$	5,0—7,0	2,68—2,72	(—3) — 6
доломиты	$10^3 - 10^5$	0,9—6,3	2,6—2,8	(—5) — 360
известняки	$10^2 - 10^5$	1,0—5,5	2,6—2,7	(—5) — 360
мел	$0,5 \cdot (10^2 - 10^4)$	1,7—4,2	1,9—2,1	0
доломитовая мука	50—300	1,2—1,3	—	—
<b>Вмещающие:</b>				
мергель	$10^2 - 10^3$	1,3—4,5	2,3—2,5	3—126
песчаник	$30 - 10^3$	0,8—4,5	2,5—2,65	3—666
песок	$10^2 - 10^3$	0,3—1,5	1,5—1,7	3—666
алевролит	20—200	0,8—4,0	2,3—2,5	3—450
глина	10—100	0,3—3,0	1,7—1,9	3—450
кварциты	$10^6 - 10^8$	5,0—6,3	2,63—2,65	0—50
гнейсы	$10^4 - 10^5$	4,5—5,7	2,58—2,85	13—126
сланцы	$10^3 - 10^5$	5,0—5,7	2,62—2,8	13—126

карбонаты платформенных районов в большей степени отличаются от вмещающих терригенных, преимущественно песчано-глинистых отложений повышенными значениями  $\rho$  и  $v$ , которые у плотных разностей карбонатов достигают  $10^5 - 10^6$  Ом·м и 6—7 км/с. В большинстве таких районов  $\rho$  известняков, доломитов и мела обычно варьирует от 300—600 до 2000—3000 Ом·м, а вмещающих отложений — от 20—80 до 100—250 Ом·м [23, 34]. Наиболее высокоомны из них обычно доломиты, несколько меньше  $\rho$  у известняков и еще ниже — у мела. В Латвии, например, значения  $\rho$  первых из этих пород изменяются от 100—150 до 1000—1300 Ом·м, а вмещающих — от 120—300 до 400—500 Ом·м. На некоторых месторождениях Латвии установлено также, что параметр  $\eta$  у доломитов варьирует от 0,6 до 1,5 %, не превышая обычно 1 %; у вмещающих же пород, исключая глины, а иногда и суглинки, он не менее 1 %. Исследованиями А.И. Заборовского показано, что значения  $\epsilon$  известняков изменяются от 7 до 30 ед. СИ.

В горноскладчатых областях значения  $\rho$ ,  $v$  и  $\sigma$  у мраморов, мраморизованных известняков, известняков и доломитов в большинстве случаев ниже, чем у вмещающих изверженных и метаморфических образований, но заметно выше по сравнению с осадочными отложениями. В зависимости от литолого-фациального состава и характера примесей  $\sigma$  карбонатов нередко варьирует. Так, на Урале у чистых известняков  $\sigma$  изменяется от 2,6 до 2,7 г/см<sup>3</sup>, а у доломитов она достигает 2,8—2,87 г/см<sup>3</sup>. По отношению к вмещающим песчано-глинистым породам избыточная плотность  $\Delta\sigma$  неразуплотненных карбонатов обычно не менее 0,8—1,2 г/см<sup>3</sup>. Пресновод-

ная же известь, доломитовая мука и разрушенный мел по многим физическим параметрам незначительно отличаются от вмещающих пород, что характерно для горноскладчатых областей и платформенных районов. Независимо от приуроченности к таким областям и районам карбонаты слабо дифференцированы по отношению к осадочным отложениям по  $k$  и  $I_{\gamma}$ , однако глинистые разности карбонатов обладают несколько повышенными величинами  $I_{\gamma}$  (например, в Латвии до 0,6—0,8 пА/кг).

При поиске и разведке месторождений рассматриваемых пород объекты геофизических исследований следует аппроксимировать ФГМ в виде крупно- и среднеразмерных тел пласто- и столбообразной форм с различными условиями залегания. Такие тела отличны от вмещающих литолого-фациальных комплексов пород повышенными в целом значениями электрического сопротивления, скоростей распространения упругих колебаний, относительно широкими пределами изменения плотности, а также пониженными величинами магнитной восприимчивости и естественной  $\gamma$ -активности. В связи с этим следует использовать при поисково-разведочных работах комплекс геофизических исследований в составе различных модификаций электроразведки, сейсморазведки и высокоточной гравиразведки, а также электро- и радиоактивного каротажа (см. табл. 2).

Различия физических свойств карбонатов и вмещающих пород, а также приуроченность продуктивных толщ к определенным структурно-тектоническим и геоморфологическим элементам, нередко отражающимся в физических полях, создают благоприятные физико-геологические предпосылки для использования геофизических методов при поиске и разведке месторождений рассматриваемого вида сырья [3]. При этом комплексность и методические особенности геофизических исследований в известной степени различны для месторождений карбонатов, приуроченных к платформенным районам и горноскладчатым областям, а также для залежей монолитных и разрушенных карбонатов (см. табл. 2).

При поиске месторождений карбонатных пород в платформенных районах успешно используются различные модификации электроразведки, преимущественно на постоянном или низкочастотном токе. При этом известняки и доломиты обычно являются опорными высокоомными геоэлектрическими горизонтами и выделяются, по данным СЭП и ВЭЗ, значениями  $\rho_k$  до 1000 Ом·м и более [34]. Так, в центральных районах европейской части СССР площади развития карбонатов отмечаются с помощью этих методов повышенными величинами  $\rho_k = 250 \div 500$  Ом·м и более под перекрывающими глинистыми ( $\rho_k = 50 \div 80$  Ом·м) и песчано-глинистыми ( $\rho_k = 200 \div 400$  Ом·м) отложениями (рис. 25). В относительно однородных геоэлектрических разрезах можно устанавливать зависимости между глубинами залегания карбонатов и значениями  $\rho_k$ , которые уменьшаются в зонах погружения.

Для выявления площадей развития карбонатных отложений и выделения на них продуктивных толщ следует преимущественно использовать электроразведку СЭП и ВЭЗ в комплексе с бурением. При сравнительно однородных по литолого-фациальному составу, выдержанных по мощности и  $\rho$  низкоомных перекрывающих отложениях целесообразно прове-

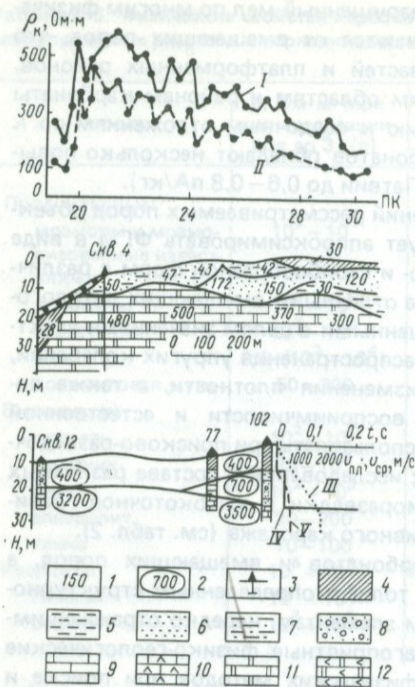


Рис. 25. Результаты геофизических работ при поиске карбонатов в центральных районах европейской части СССР (по С.П. Василюку, В.З. Гуревичу и Г.В. Завадскому, 1977 г.).

Кривые  $\rho_k$  по данным ВЭЗ и СЭП при АВ (в м): 1 — 300, 11 — 100; III — вертикальный годограф; графики скоростей: IV —  $v_{пл}$ , V —  $v_{ср}$ ; значения: 1 —  $\rho_k$  (в Ом·м), 2 —  $v_{пл}$ ,  $v_{ф}$  (в м/с); 3 — скважины; 4 — суглинки; 5 — глина; 6 — чистые, 7 — глинистые, 8 — с валунами; 9 — известняки; 10 — плотные, 11 — плотные, 12 — трещиноватые

карбонатов целесообразно использовать также КрВЭЗ, КВЭЗ и ВЭЗ-ВП. При затруднении с выделением карбонатных пород под высокоомными перекрывающимися отложениями данные электроразведки целесообразно привлекать для установления зон с различными величинами  $\rho_k$ , из которых наиболее низкоомные при последующих поисковых работах исключаются как неперспективные на выявление продуктивных пород неглубокого залегания.

дение электроразведки СЭП с одноразносными установками. В тех случаях, когда перекрывающие отложения неоднородны по составу и не выдержаны по мощности и сопротивлению, следует применять установки двух- и трехразносного СЭП. При этом в выявленных методом СЭП зонах anomalно повышенных значений  $\rho_k$  необходимо проводить ВЭЗ и бурение. Кроме СЭП и ВЭЗ при поиске карбонатных пород более ограничено используются и такие модификации электроразведки, как КЭП, Рк, ЧЭМЗ и др. [34], однако применять эти модификации целесообразно при их более высокой информативности или рентабельности по сравнению с СЭП и ВЭЗ.

Выделение карбонатных пород, перекрытых высокоомными песчано-гравийными отложениями, по данным СЭП и ВЭЗ обычно затруднено [3], из-за чего рекомендуется шире выполнять ВЭЗ-ВП у скважин, что позволяет выяснять изменения формы и характера кривых ВЭЗ в зависимости от неоднородностей геоэлектрических разрезов. Уточнение таких особенностей в ряде случаев облегчает последующее разграничение карбонатов и высокоомных песчано-гравийных отложений по материалу рядовых ВЭЗ. В тех случаях, когда вмещающие и перекрывающие отложения представлены мощными комплексами песчано-гравийных пород, для выявления площадей развития карбонатов

При наличии высокоомных перекрывающих отложений для выделения карбонатов целесообразно привлекать и сейсморазведку МПВ [3, 23], по результатам которой в таких случаях нередко фиксируются двух- и трехслойные сейсмогеологические разрезы. Первые из них характерны для участков неглубокого (обычно до 15–20 м) залегания карбонатных пород, где прямые волны с  $v = 0,3 \div 1,2$  км/с соответствуют покровным отложениям (супеси, суглинки, песчаники, глины), а преломленные волны с  $v_r = 2 \div 4$  км/с, как правило, связаны с кровлей карбонатных толщ. В трехслойных же разрезах прямые волны обычно сменяются преломленными ( $v_r = 0,7 \div 2,4$  км/с) от отдельных горизонтов перекрывающих отложений с повышенными величинами акустической жесткости, а также нередко и от зеркала грунтовых вод. Кровле карбонатных пород, как правило, соответствуют последующие, достаточно интенсивные преломленные волны.

По результатам сейсморазведки МПВ нередко четко разделяются участки развития высокоомных песчано-гравийных отложений и карбонатов, а также оцениваются глубины залегания последних. По данным В.Е. Бойко, выявление в Молдавии методом ВЭЗ карбонатных толщ под высокоомными сухими песками нередко затруднено, однако при комплексировании ВЭЗ с сейсморазведкой МПВ и бурением достоверность геолого-геофизических построений существенно возрастает. Заслуживает более широкого внимания и опыт картирования сейсморазведкой площадей развития карбонатов при поисковых работах на бокситы в Тургайской впадине.

Выявление карбонатных пород неглубокого залегания в ряде случаев целесообразно и площадной гравиразведкой. В комплексе с геофизическими методами при поиске площадей развития карбонатных пород целесообразно использовать и газовую (карбонатную) съемку, успешное применение которой известно по ряду районов.

Достаточно актуальным является использование результатов поисковых геофизических работ для выделения участков развития отдельных видов карбонатного сырья. Так, материалы М.И. Голода свидетельствуют, что в Белоруссии залежи мела обычно картируются сейсморазведкой в виде зон с  $v_r = 2 \div 3$  км/с, в пределах которых СЭП и ВЭЗ фиксируют значения  $\rho_k$  порядка 50–100 Ом·м. Исследования ВНИИГеолнеруда на Мадавском месторождении доломитовой муки в Горьковского обл. показали, что по результатам сейсморазведки МПВ кровля и подошва продуктивной толщи выделяются здесь отчетливыми преломляющими горизонтами из-за различий величин  $v_{пл}$  у покровных песчано-глинистых отложений, продуктивных пород, слабозрушенных и неразрушенных доломитов (соответственно 0,35–0,5; 1,2–1,3; 2,6–2,7; 3,0 км/с и более). Выявление и оконтуривание залежей доломитовой муки под низкоомной вскрышей возможно и площадной электроразведкой (ВЭЗ, двух- и трехразносное СЭП). Неразрушенные разности пресноводной известки (известковый туф и др.) должны выделяться электро- и сейсморазведкой так же как известняки, а более слабые ее разновидности (гажа и др.), обладающие более низкими значениями  $\rho$  и  $v$ , аналогично отложениям писчего мела.

Для решения различных поисковых задач, связанных с оконтуриванием продуктивных толщ, а также оценкой элементов их залегания и степени сохранности карбонатных пород, необходимо привлекать отмеченные выше методы, но с необходимыми сгущением сети и повышением точности геофизических исследований. Так, для оконтуривания крупных пласто- и линзообразных залежей при относительной выдержанности их строения расстояние между профилями допустимо порядка 500 — 1000 м, при невыдержанности же разрезов это расстояние следует сокращать до 250 м и менее. Например, для оконтуривания в Белоруссии продуктивных останцев мела размерами порядка 200× (200—900) м достаточным оказалось проведение СЭП по сети 200×200 м.

Для оценки элементов залегания продуктивных толщ под низкоомными отложениями следует в основном привлекать ВЭЗ и сейсморазведку МПВ, реже СЭП и гравиразведку. В Заволжье глубины залегания карбонатных пород по данным ВЭЗ обычно определяются с точностью порядка 10 % [3], однако при неоднородности перекрывающих отложений по  $\rho$  и изменениях их мощности погрешность таких оценок возрастает до 15—20 % и более. В ряде случаев погрешность оценок глубины по данным ВЭЗ несколько снижается путем трансформации кривых в дифференциальные кривые зондирования.

На различных подстадиях поисковых работ геофизические методы рекомендуется шире привлекать для выявления зон разрушенности и закарстованности карбонатных толщ. Для этого широкий и разнообразный комплекс геофизических методов успешно применяется в СССР [3, 7, 34] и за рубежом.

Основные из этих методов (модификаций) включены в настоящие рекомендации (см. табл. 2), однако независимо от вида карбонатных пород, особенностей геологического строения, структурно-тектонической приуроченности их месторождений, характера, интенсивности разрушенности и закарстованности наиболее информативна и результативна при этом электроразведка.

Благоприятной физико-геологической предпосылкой успешного применения последней, а также ряда других методов являются различие физических свойств пород, разрушенных, затронутых и не затронутых карстовыми процессами, приуроченность участков повышенной трещиноватости и закарстованности к тектонически ослабленным и нарушенным зонам карбонатных залежей. У разрушенных карбонатных пород значения  $\rho$  изменяются в зависимости от степени их сохранности, водонасыщенности и материала — заполнителя карстовых полостей, однако эти значения в большинстве случаев заметно ниже, чем у крепких и незакарстованных карбонатных пород. На площадях относительно постоянной глубины залегания карбонатов зоны пониженных величин  $\rho_K$  соответствуют участкам развития их разрушенных разностей. Последние, например, на Веневском месторождении (Тульская обл.) отмечаются значениями  $\rho_K$  в 60—70 Ом·м и несколько более, что заметно ниже  $\rho_K$  (не менее 250—300 Ом·м) у плотных, неразрушенных карбонатных пород.

Разрушенные карбонаты относительно их плотных разностей обла-

дают также пониженными величинами  $\sigma$  и  $v$ , что нередко благоприятствует установлению зон развития карбонатных пород различной сохранности грави- и сейсморазведкой. Так, сейсморазведкой МПВ на Неверовском месторождении мраморов выделены трещиноватые разности продуктивных пород, характеризующиеся аномально низкими значениями  $v$ , которые в монолитных блоках плотных мраморов возрастают до 6–8 км/с [23]. На Среднем Урале повышено трещиноватые и закарстованные известняки выделяются по данным ВЭЗ, а также отмечаются гравиразведкой в виде локальных минимумов  $\Delta g$  интенсивностью в первые десятки микроньютона на килограмм. Разделение карбонатных пород по степени их сохранности с выделением целесообразных для последующей разведки блоков плотных пород нередко обеспечивают и ГИС (ЭК, РК, АК и др.).

В горноскладчатых областях залежи карбонатных пород обычно характеризуются значительной мощностью, крутопадающим залеганием и разнообразием вмещающих пород, что и предопределяет отличия поисковых геофизических работ в этих областях по сравнению с платформенными районами, в частности более широкое использование установок НСЭП и магниторазведки. Картировочный комплекс, включающий эти методы, а также электроразведку ВЭЗ, успешно использован, например, на Алтае при поисковых работах в районе Неверовского месторождения известняков.

Относительно вмещающих осадочных, эффузивно-осадочных, эффузивных (в основном туфов и лав) и метаморфизованных пород площади развития карбонатных пород в целом характеризуются повышенными значениями  $\rho_k$ ,  $\Delta g$  и  $v$  с несколько пониженными величинами параметров геомагнитного поля и естественной радиоактивности. При относительной геоэлектрической однородности перекрывающих отложений для выявления площадей развития карбонатных пород неглубокого залегания следует преимущественно применять электроразведку, по данным которой в Забайкалье площади развития известняков среди песчано-сланцевых отложений и эффузивов, а на Урале мраморизованных известняков среди метаморфических сланцев выделяются значениями  $\rho_k$  от 1000 до 10 000 Ом·м.

Залежи карбонатных пород рифового типа нередко являются высокоскоростными и высокоскоростными опорными горизонтами и характеризуются, например, на Среднем Урале значениями  $\rho_k$  и  $v$  соответственно порядка 4000–5000 Ом·м и 6–7 км/с. Выявлять площади развития таких карбонатных залежей среди осадочных, эффузивно-осадочных и метаморфических пород следует с помощью электроразведки (ЭП, ВЭЗ и др.) в комплексе с сейсморазведкой МПВ. В случае сопоставимости по  $\rho$  карбонатных и вмещающих метаморфических пород для выделения продуктивных толщ целесообразно комплексировать сейсмо- и гравиразведку. Последняя, в частности, успешно использована в Криворожье для картирования площадей развития доломитов с повышенной  $\sigma$  относительно вмещающих сланцев, туфопесчаников и конгломератов.

В ряде горноскладчатых областей карбонатные и вмещающие породы

дифференцированы по  $k$  и  $I_\gamma$ , что позволяет привлекать для картирования продуктивных толщ соответствующие геофизические методы. Так, в Карелии, по данным Л.И. Сухановой, площади развития карбонатных пород среди базитовых и ультрабазитовых массивов выделяются пониженными значениями поля  $\Delta Z$ . Использование квантовых магнитометров обеспечивает выделение площадей развития практически немагнитных известняков среди слабомангнитных порфиров (Урал), а мраморов и мраморизованных известняков — среди осадочных пород (Алтай). В Восточной Сибири некоторые площади развития известняков выделены, как показал в 1962 г. Е.П. Устинов, пониженными значениями (0,1—0,3 пА/кг)  $\gamma$ -поля.

Наземные геофизические исследования необходимо дополнять электрическим (КС, ПС) и радиоактивным (ГК, НГК) каротажем поисковых скважин. В большинстве случаев карбонатные толщи четко выделяются повышенными значениями  $\rho_k$  (до 3000—5000 Ом·м и более) и пониженными величинами  $I_\gamma$  (0,2—0,7 пА/кг). Стандартные виды каротажа целесообразно комплексировать с другими модификациями ГИС, в первую очередь с АК, КМВ и ГГКП.

Оконтуривание продуктивных толщ среди различных комплексов пород следует проводить преимущественно электро- и сейсморазведкой, комплексировав их в необходимых случаях с грави- и магниторазведкой, а также с ГИС в поисковых скважинах. При сложном геологическом строении опосредуемых площадей и крутопадающем залегании карбонатных толщ следует шире использовать установки НСЭП (КЭП, МСГ, МДС), однако необходимо учитывать, что повышение при этом информативности электроразведочных работ нередко связано с усложнением методики их проведения. Так, оконтуривание залежей мраморов среди осадочных, метаморфических и изверженных пород Зауралья успешно выполнено путем комплексирования ВЭЗ, КЭП, магнито- и гравиразведки с бурением.

В горноскладчатых областях для оценки элементов залегания продуктивных толщ и выделения зон разрушенности карбонатов среди метаморфических и других литолого-фациальных комплексов рекомендуется привлекать электро- (ВЭЗ, ЭП), сейсмо- (МПВ) и гравиразведку, а также материалы ГИС (КС, ГК, АК и др.). Так, по В.А. Капустиной, методами КС, ГК и ГГКП уверенно разграничены монолитные блоки и зоны дробления в мраморах Чатбарского месторождения.

При разведке месторождений карбонатного сырья геофизические методы обеспечивают решение различных геологических задач (см. табл. 2). При этом постановку крупномасштабных и детальных геофизических работ необходимо предварять оценкой экономической рентабельности их проведения, а также определением для отдельных регионов (территории, площади) рациональной стадийности, характера и объема геофизических исследований в общем комплексе геолого-геофизических работ, что наиболее широко осуществляется УГ при СМ ЛатвССР и ПГО Центргеология. С учетом отмеченного и должны рассматриваться приводимые ниже рекомендации.

Для выделения и оконтуривания залежей карбонатного сырья целесообразно использовать электроразведку (СЭП, ВЭЗ и др.), ГИС и в зависимости от особенностей геологического строения и структурно-тектонической приуроченности дополнительно — сейсморазведку МПВ с невзрывными источниками колебаний или детальную гравиразведку, а при соответствующих физико-геологических предпосылках также магниторазведку и радиометрические съемки [3, 34]. Для детальной разведки отдельных участков месторождений применимы различные модификации отмеченных методов, в первую очередь электроразведки — КЭП, ДЭП, МДС, МСГ и др.

Для определения элементов залегания продуктивных толщ и горизонтов следует привлекать различные геофизические методы, комплексность которых определяется конкретными геологическими условиями. Так, при низкоомных перекрывающих отложениях и в относительно простых геоэлектрических условиях карты (схемы) изолиний  $\rho_k$ , получаемых по данным ВЭЗ и ЭП, достаточно надежно отражают изменения рельефа кровли карбонатных пород между геологоразведочными выработками (скважинами). В более сложных геологических условиях, в частности при высокоомности перекрывающих отложений, для решения рассматриваемой задачи следует привлекать электроразведку (МСГ, МДС, КВЭЗ) в комплексе с сейсморазведкой МПВ, гравиразведкой при постоянной увязке получаемых материалов с данными ГИС (КС, ГК, АК и др.), а также бурения.

При количественной интерпретации электроразведочных данных в ряде случаев необходимо учитывать изменения коэффициента анизотропии пород разведываемых разрезов. При заметной дифференцированности этого параметра у продуктивных ( $\lambda_{ан} = 1,3 \div 1,6$ ) и вмещающих ( $\lambda_{ан}$  до 3—4) образований [3] значения  $\rho_k$  по простиранию пластов карбонатов нередко заметно меньше, чем в ортогональном к нему направлении, а величины  $\rho_k$  по падению продуктивных горизонтов оказываются большими, чем в направлении их восстания. При таких особенностях геоэлектрических разрезов для определения простирания и углов падения продуктивных пластов следует использовать наряду с традиционными ВЭЗ также КрВЭЗ и КВЭЗ.

Для выделения продуктивных горизонтов (пластов), их корреляции между горными выработками (скважинами) и расчленения геологических разрезов целесообразно привлекать геофизические методы, комплексность и методические особенности применения которых при разведке отдельных видов карбонатного сырья различной структурно-тектонической приуроченности достаточно сходны (см. табл. 2). Решение таких задач результативно проводится по данным ГИС (КС, ПС, ГК, НГК, АК), но нередко это обеспечивают материалы ВЭЗ-ВП и сейсморазведки МПВ.

При разведке месторождений карбонатов (мраморизованных известняков и др.) нередко возникает необходимость оценки степени их монолитности с выявлением при этом разрывных тектонических нарушений и включений изверженных пород (дайки и др.). Относительно карбонатов изверженные породы, как правило, отмечаются повышенными значениями

ми  $I_\gamma$  и  $\kappa$ , а вмещающие метаморфизованные образования (сланцы, кварциты, гнейсы и др.) выделяются повышенными величинами  $\kappa$ , а также пониженными значениями  $I_\gamma$  и  $\rho$ . На Негребовском месторождении, например, доломитовые мраморы по данным ГИС отмечены значениями  $\rho_K$  более 7500 Ом·м и низкой  $\gamma$ -активностью (до 0,3 пА/кг), а вмещающие граниты и гнейсы — величинами  $\rho_K$  не более 2500 Ом·м и  $\gamma$ -активностью до 1,4 пА/кг. При разведке этого месторождения прослеживание интрузивных тел и метаморфических комплексов пород в межскважинном пространстве выполнялось по результатам электроразведки МЭК и РВП [23].

Изучение зон разрушенности и закарстованности с выделением и оконтуриванием карстовых форм, определением размеров и глубин их залегания нередко имеет специфические особенности, связанные с разведкой поверхностного и глубинного карста, размерами карстовых полостей, степенью закарстованности площади (участка) и др.

Над "сухим" и "незаполненным" карстом в ряде случаев отмечаются более высокие, чем над незакарстованными карбонатными породами, значения  $\rho_K$ , а над "обводненным" и "заполненным" карстом — более низкие величины  $\rho_K$ . При заполнении карстовых полостей терригенно-обломочным материалом пониженной  $\sigma$  (1,3–2,1 г/см<sup>3</sup>)  $\Delta\sigma$  на контакте этих полостей с неразрушенными карбонатными породами нередко достигает 0,3–0,8 г/см<sup>3</sup>. Различны и значения  $v$  в плотных карбонатных образованиях (3–4 км/с и более) и в их разрушенных и закарстованных разностях, а также в обломочных терригенных и рыхлых породах (1,5–2,0 км/с). В ряде случаев вторичный материал, заполняющий карстовые полости, обладает повышенными величинами  $\kappa$  и  $I_\gamma$ , а также превышающими фоновый уровень значениями отношения  $U/Th$ , что позволяет использовать для оконтуривания карста детальную магниторазведку с высокочувствительной аппаратурой и радиометрическую съемку предпочтительно в гамма-спектрометрическом варианте.

В платформенных районах для выявления карстовых образований крупных размеров и неглубокого залегания преимущественно следует применять СЭП, по материалам которого такие образования отмечаются минимумами или изрезанностью (пилообразностью) графиков  $\rho_K$ . В горноскладчатых областях метод СЭП целесообразно применять в основном на участках с относительно простым геологическим строением и спокойным рельефом.

Для изучения закарстованности месторождений платформенных районов и горноскладчатых областей рекомендуется применять двухразное СЭП с выяснением по его данным параметра  $a$ , представляющего собой отношение значений  $\rho_K$ , полученных установками с разными разностями  $AB$ , и позволяющего качественно охарактеризовать степень сохранности карбонатных пород на различных глубинах [3]. Изучение закарстованности и оценка монолитности известняков Аккермановского месторождения выполнялись, как показал в 1974 г. П.П. Засыпко, по корреляционным зависимостям между коэффициентами закарстованности карбонатных пород и величинами их  $\rho$ . В пределах зон закарстованности и

повышенной трещиноватости карбонатных пород, отмеченных по данным СЭП, и на закарстованных участках со сложным геологическим строением целесообразно проведение детальных электроразведочных работ установками КЭП, ДЭП, МСГ и др. При этом установки КЭП применимы в случае незначительной глубины залегания поверхностных карстовых форм, а ДЭП — при увеличении мощности вскрышных пород. Карстовые полости нередко выделяются повышенными значениями горизонтальной и пониженными величинами вертикальной составляющих электромагнитного поля, в связи с чем в ряде случаев следует использовать метод радиокип.

При значительной неоднородности перекрывающих отложений и крутопадающем залегании карбонатных толщ достаточно эффективны установки МДС, обеспечивающие, как показал еще в 1971 г. А.Н. Боголюбов, изучение изменений закарстованности и трещиноватости пород с глубиной, а также количественную оценку элементов залегания карбонатных толщ. Так, на Кунарском месторождении (Урал), имеющем сложный геоэлектрический разрез, результаты МДС обеспечили надежное выявление закарстованных карбонатных пород. Необходимо более широко опробовать способ вычитания полей, нередко успешно используемый, согласно И.А. Брашнейной, для изучения закарстованности при инженерно-геологических исследованиях.

Глубинный карст установками ЭП обычно выделяется недостаточно уверенно, в связи с чем для его изучения рекомендуется в основном применять ВЭЗ. Последний нередко обеспечивает не только выявление глубинного карста, но и определение мощности и глубины залегания карстующихся пород. Так, в Латвии при разведке месторождения доломитов Ритери метод ВЭЗ с разносами АВ до 300 м использован для выделения участков закарстованности, отмечающихся на картах изолиний  $\rho_k$  значениями 30—300 Ом·м при  $\rho_k$  незакарстованных доломитов порядка 600—1000 Ом·м.

При изучении глубинного карста целесообразно комплексировать ВЭЗ с сейсмо-, гравиразведкой и ГИС (КС, ПС, ГК, ГГК и др.). Трещиноватые, закарстованные и нередко глинистые карбонаты отмечаются положительными аномалиями ПС и пониженными значениями кривых КС, НГК, ГГК и АК. "Незаполненный" карст фиксируется низкими значениями диаграмм ГК и высокими величинами кривых КС, а "заполненный" — повышенными значениями диаграмм ГК и относительными минимумами кривых КС. В Латвии закарстованные известняки нередко отмечаются  $\gamma$ -активностью 0,8—0,9 пА/кг на фоне более низкой  $\gamma$ -активности (0,2—0,4 пА/кг) у неразрушенных карбонатов.

Применение детальной высокоточной гравиразведки наиболее эффективно на участках развития "незаполненного" глубинного карста или заполнения последнего рыхлым материалом с малой плотностью  $\sigma$ . В этих случаях локальными минимумами  $\Delta g$  нередко выделяются и рконтурируются глубинные карстовые формы, размеры которых соизмеримы с глубинами их залегания. В ряде случаев решающая способность и глубинность карстологических исследований возрастают при использовании материалов градиенто- и вариометрических съемок.

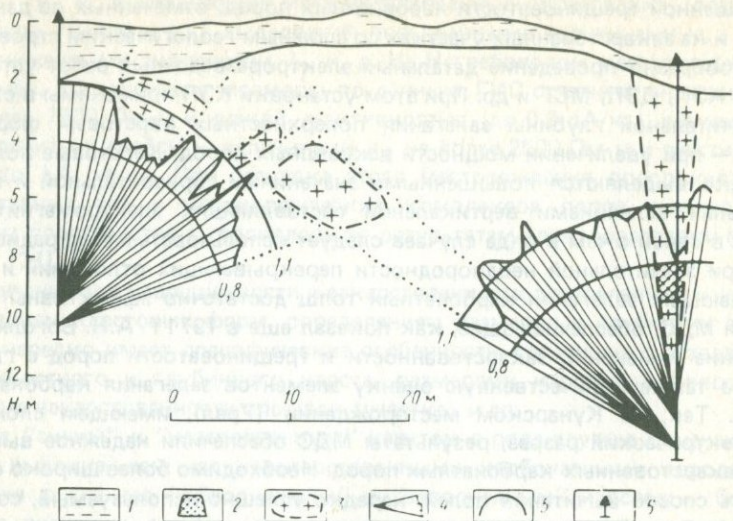


Рис. 26. Выявление карстовых полостей в карбонатном массиве сейсмическим просвечиванием (по В.В. Лисицкому и др.).

1 — рыхлые отложения; карстовые полости: 2 — вскрытые скважиной, 3 — возможные; 4 — индикаторы  $v_{cp}$ ; 5 — изолинии  $v_{cp}$  (в м/с); 6 — скважины

На закарстованных участках значения скоростей ( $v_r$  и  $v_{пл}$ ) нередко в 1,5–2 раза ниже, чем в незакарстованных карбонатах, вследствие чего сейсморазведка МПВ отмечает такие участки непотряженными преломляющими границами или зонами заметного затухания полезных волн. Для выделения участков закарстованности и отдельных карстовых полостей в межскважинном пространстве рекомендуется привлекать сейсмическое просвечивание (рис. 26), а также акустическое и радиоволновое [22].

Исследования ВНИИГеолнеруда показали, что выявление и изучение карбонатного карста осуществимо также сейсморазведкой ССП-МПВ, инфракрасной (ИК) и малоглубинной термометрической съемками, однако уточнение геологических возможностей этих методов связано с необходимостью продолжения опытно-методических работ.

В процессе разведочных работ геофизические методы целесообразно применять и для оценки качества карбонатного сырья (см. табл. 2), что успешно выполнялось на некоторых месторождениях — Погореловском, Солдатская Ташла (центральные районы европейской части СССР), Ритери, Кумас (Прибалтика), Кунарском (Урал), Подгорном (Восточная Сибирь), Чатбазарском (Средняя Азия) и др. По материалам ГИС (КС, БКЗ, ГК, НГК и др.) карбонатные породы нередко разделяются по степени глинистости, пористости, плотности и трещиноватости. Так, на Среднем Урале  $\gamma$ -активность чистых флюсовых известняков (Чаньвинское и другие месторождения) обычно не превышает 0,1–0,2 пА/кг. У повышенно же глинистых карбонатов, не удовлетворяющих требованиям ряда произ-

водств,  $\gamma$ -активность нередко возрастает до 0,4–0,6 нА/кг и более. Для определения глинистости карбонатных пород рекомендуется применять данные ПС, по которым глинистые карбонаты обычно фиксируются заметными понижениями амплитуд кривых ПС. С увеличением пористости карбонатных пород их  $\rho$ ,  $I_{H\gamma}$  и скоростные характеристики уменьшаются, вследствие чего для соответствующих оценок целесообразно использовать данные БКЗ, НГК, АК и ПС.

Ядерно-геофизические модификации ГИС обеспечивают определение ряда ингредиентов карбонатных пород. Так, по результатам ГК возможно количественное определение содержания СаО, а по данным СНГК и НАК — содержания MgO [41]. Материалы НГК дают возможность количественных оценок водонасыщенности карбонатов, включая и доломитовую муку, что показано Б.Е. Фельдманом и М.В. Соколовым.

Оценка качества карбонатного сырья в ряде случаев выполняется и по данным наземных геофизических исследований. Так, например, в Латвии выяснены некоторые особенности изменений  $\rho_k$  карбонатов в зависимости от содержания MgO, установлены связи между возрастанием величин  $\rho$  и  $v_{об}$  карбонатов (соответственно 200–1200 Ом·м и 2,4–2,7 г/см<sup>3</sup>), увеличением  $\rho_k$  и сопротивления сжатия  $F_{сж}$  доломитов (соответственно 100–1200 Ом·м и 200–100 г/см<sup>3</sup>) при погрешности определения прочностных свойств по данным ВЭЗ не более 25 %, а также пропорциональная зависимость изменений значений  $\eta$  и  $F_{сж}$  доломитов. Несомненно, что подобные зависимости необходимо изучать и в других районах для более широкого привлечения геофизических методов при решении различных задач на этапе разведки месторождений карбонатов.

## КРЕМНИСТЫЕ ПОРОДЫ

Диатомит, опока и трепел — близкие по составу кремнийсодержащие (SiO<sub>2</sub> — 60–98 %) породы биохимического происхождения. Эти породы обладают низкой плотностью, высокой пористостью, хорошими звуко- и теплоизоляционными, фильтрующими и отбеливающими свойствами. Поэтому они широко используются в строительстве, производстве цемента, химической, пищевой и других отраслях промышленности при изготовлении абразивов.

Вопросы классификации кремнистых пород рассматривались многими исследователями (в том числе У.Г. Дистановым и др.). Наиболее перспективны для геофизических исследований месторождения кремнистого сырья озерного типа, структурно-тектонически приуроченные к районам активной вулканической деятельности.

Месторождения кремнистых пород, как правило, залегают на глубинах до первых десятков метров и преимущественно среди терригенно-карбонатных отложений. Однако на месторождениях, приуроченных к озерам вулканического ландшафта, подстилающими и перекрывающими породами обычно являются изверженные и вулканогенно-осадочные образования. Продуктивные толщи в основном сложены породами опалового и опал-кристаллитового состава. Форма залежей в большинстве случаев

Таблица 7. Физические свойства кремнистых пород

Породы (месторождения)	Число образцов	$\sigma$ , г/см <sup>3</sup>	$v_p$ , м/с	$K$ , 10 <sup>-5</sup> ед. СИ	$\eta$ , %	$\rho$ , Ом·м
Диатомит (Джраздорское)	20	< 1	500–1270	0	0,1–0,69	333–4850
			737		0,36	2059
Диатомит (Паракорское)	6	1,3–1,45	590–950	0–16	0,31–1,18	35–600
		1,37	806		0,74	157
Опоки (месторождения Ульяновской, Свердловской областей и Полярного Урала)	19	1,0–2,04	1000–3250	0–6	0,4–1,96	—
		1,57	2330		1,07	
Глинистые диатомиты и трепелы (месторождения Ульяновской, Свердловской областей и Полярного Урала)	6	< 1–1,71	1300–2800	0	0,45–1,13	—
					0,83	

Примечание. Числитель — пределы изменения параметров, знаменатель — их средние значения (измерения выполнены в Воронежской ГФЭ ПГО Центргеология)

пласто-, линзо- и гнездообразная с размерами от десятков метров до многих километров.

Кремнистые породы практически немагнитны и относительно вмещающих образований обладают пониженными значениями  $\lambda$  и  $\sigma$  ( $\Delta\sigma$  изменяется от 0,2 до 1,6 г/см<sup>3</sup>). Параметры  $\rho$  и  $\eta$  у продуктивных и вмещающих пород, как правило, соизмеримы. Дифференциация по физическим свойствам отдельных разновидностей кремнистых пород изучена недостаточно. Основные разновидности этих пород имеют сходные значения  $k$ ,  $\rho$  и  $\eta$ , а величины  $\sigma$  и  $v_p$  несколько возрастают от диатомитов к трепелам и от последних к опокам (табл. 7).

При поиске и разведке рассматриваемых месторождений объекты исследований можно представить ФГМ в виде конечных и бесконечных по простиранию, обычно субгоризонтально залегающих пластов, отличающихся от вмещающих пород пониженными значениями плотности и теплопроводности при незначительной дифференциации по другим физическим свойствам. При поисково-разведочных работах представляется оправданным преимущественное использование гравиразведки и комплексирование ее с некоторыми другими видами наземных и скважинных геофизических исследований (см. табл. 2).

Сведений о применении геофизических методов для поиска и разведки месторождений рассматриваемых пород нет ни в отечественной, ни в зарубежной литературе. Однако для их использования существуют определенные физико-геологические предпосылки, к которым следует отнес-

ти дифференцированность физических свойств как продуктивных пород относительно вмещающих, так и основных разновидностей кремнистых пород между собой, а также приуроченность продуктивных залежей и месторождений к определенным геологическим образованиям, "отображающимся" в физических полях. Целесообразность и рентабельность применения геофизических методов в практике геологоразведочных работ на данный вид сырья не изучены, так как большинство известных месторождений, залегающих вблизи земной поверхности, выявлены и разведаны геологическими методами. При поиске же и разведке месторождений кремнистых пород, приуроченных к озерам вулканического ландшафта и отличающихся высоким качеством сырья, геофизические исследования должны обеспечить повышение геологической результативности и экономической эффективности общего комплекса геологоразведочных работ. Соответствующие методические рекомендации по применению и комплексованию геофизических методов даются применительно к решению основных геологических задач на отдельных стадиях геологоразведочных работ (см. табл. 2).

При поиске и разведке месторождений кремнистых пород для решения ряда задач (см. табл. 2) можно рекомендовать использование магнито- и гравиразведки, геотермии, сейсморазведки, а также проведение ГИС. Так как физические свойства кремнистых пород изучены недостаточно и целенаправленные геофизические работы не проводились, высказанные рекомендации носят предварительный характер. Для их детализации и конкретизации необходима постановка соответствующих тематических и опытно-методических работ.

## МАГНЕЗИТ И БРУСИТ

Рассматриваемые виды сырья являются магнийсодержащими соединениями (карбонат и гидрат окиси магния соответственно). Магнезит — порода с преобладанием одноименного минерала, в которой присутствуют доломит, кальцит, глинистые и углистые вещества, кварц и др. Применяется он в основном для изготовления высокоогнеупорного кирпича и получения различных магнийсодержащих соединений. Наибольшее распространение и значимость имеют осадочно-метаморфизованные месторождения магнезита апокарбонатного типа, преимущественно связанные с терригенно-карбонатными формациями миогеосинклинальных зон. Продуктивные залежи представлены крупными линзо- и пластообразными телами, приуроченными к доломитовым толщам. Размеры залежей достигают нескольких сот и тысяч метров по простиранию (до 9 км на Савинском месторождении) при мощности в центральных частях от 40 — 200 до 500 и даже 900 м. На большинстве месторождений отмечается крутопадающее (до 55—70°) залегание продуктивных пород с различной степенью их закарстованности. Месторождения магнезита апогипербазитового типа имеют меньшее значение, чем месторождения апокарбонатного типа [26].

Бруситсодержащие разновидности магнезиального сырья представле-

Таблица 8. Физические свойства апокарбонатных разновидностей магнезита, брусита и вмещающих пород [36]

Породы	$\sigma$ , г/см <sup>3</sup>	$10^{-5} \kappa$ , ед. СИ	$v$ , км/с	$\rho_{\kappa}$ , Ом·м	$I_{\gamma}$ , пА/кг
Магнезит	2,96—3,00	5—10	6,50—6,92	1000—2000	0,29—0,43
Брусит*	2,36—2,38	0	5,20—5,70	$3 \cdot 10^4$ — $2 \cdot 10^5$	—
Известняк, доломит	2,60—2,86	5—15	4,00—5,00	1000—7000	0,43—0,5
Сланцы и гнейсы	2,45—3,00	12—1900	5,00—5,90	300—2000	0,5—0,7
Гранитоиды	2,57—2,78	60—1900	5,10—5,50	500—3000	0,43—36
Глины, су- глинки	1,80—2,40	12—250	1,80—3,00	30—800	1,29—2,29

\*Результаты измерений ВНИИгеолноруда и Воронежской ГФЭ ПГО Центргеология по образцам пород Кульдурского месторождения.

ны собственно бруситом, преимущественно сложенным одноименным минералом и имеющим основную промышленную значимость, а также бруситовыми мраморами с содержанием в них брусита до 20—30 %. Используется брусит в производстве электротехнического периклаза, в целлюлозно-бумажной промышленности и некоторых других отраслях. Наибольший интерес представляют бруситовые образования, связанные с магнезиально-карбонатными породами. Продуктивные бруситоносные толщи в основном тяготеют к контактовым зонам доломит-магнезитовых комплексов пород с интрузивными телами, преимущественно гранитоидного состава, а залежи брусита имеют пластинчатую и линзовидную форму. Их размеры по простиранию достигают 400—1200 м при мощности около 40—110 м и обычно крутопадающем (50—60°) залегании пород.

Доломит-магнезитовые породы месторождений апокарбонатного типа являются высокоомными образованиями (табл. 8) и их  $\rho$  достигает, согласно Г.С. Вахромееву и А.Б. Семенченко (1970 г.),  $(30-42) \cdot 10^3$  Ом·м при  $\rho$  вмещающих биотит-амфиболовых сланцев около  $2 \cdot 10^3$  Ом·м. Повышенные значения  $\rho$  имеет и брусит, который практически немагнитен и отличается от магнезита более низкими величинами  $\sigma$  (в некоторых случаях на 0,6—0,7 г/см<sup>3</sup>) и  $v$  (на 25—30 %). Гранитоидные интрузии, контролируемые бруситоносные образования, по сравнению с продуктивными и вмещающими породами имеют пониженные значения  $\sigma$  ( $2,5-2,65$  г/см<sup>3</sup>) и повышенные величины  $\kappa$  (до  $3800 \cdot 10^{-5}$  ед. СИ) и  $I_{\gamma}$ . Дифференцированность по физическим свойствам продуктивных и вмещающих пород и приуроченность первых из них к определенным геологическим образованиям, нередко выделяющимся в геофизических полях, являются благоприятными физико-геологическими предпосылками для применения геофизических методов. Примером результативности геофизических исследований является обнаружение по электро- и магниторазведочным данным залежей магнезита на флангах Онотского месторождения.

Объекты геофизических исследований при поиске и разведке месторождений рассматриваемых видов сырья целесообразно аппроксимировать ФГМ в виде крупно- и среднеразмерных пластов конечного и бесконечного простирания различного залегания (вплоть до крутопадающего) и нередко закарстованных. Залежи продуктивных пород практически немагнитны и отличаются от вмещающих образований пониженными величинами электропроводности, естественной  $\gamma$ -активности и повышенными значениями плотности и скоростей распространения упругих колебаний. В связи с этим представляется оправданным комплексирование при поисково-разведочных работах электроразведки (в различных модификациях) с грави- и магнитометрической съемками, сейсморазведкой, различными видами ГИС (см. табл. 2).

При поиске месторождений рассматриваемых видов сырья геофизические методы обеспечивают решение различных геологических задач, в основном связанных с выявлением и уточнением особенностей геологического строения магнезиально-карбонатных толщ (см. табл. 2). Последние, как правило, отличаются зонами слабо дифференцированных и малоинтенсивных значений  $Z_a$ , радиоактивности и повышенных величин  $\rho_k$ . Плотностная дифференциация продуктивных и вмещающих пород наблюдается не всегда. Так, на Савинском месторождении метаморфизованные образования, вмещающие продуктивную магнезиально-карбонатную толщу, представлены амфиболитовыми и биотит-амфиболовыми сланцами, сопоставимыми по  $\sigma$  с магнезито-доломитами, в связи с чем последние в гравитационном поле четко не выделяются.

На подстадии общего поиска для выявления магнезиально-карбонатных толщ и изучения особенностей их строения рекомендуется привлекать аэро- и наземные варианты магнито- и радиометрических съемок, наземную электроразведку (СЭП, ДЭП, реже ВЭЗ) и гравиразведку. Материалы магнито- и радиометрической съемок обеспечивают также выявление и прослеживание тектонических нарушений. На Савинском месторождении, по данным Г.С. Вахромеева и А.Б. Семенченко (1971 г.), разрывные нарушения, особенно на контактах с продуктивным горизонтом доломит-магнезитов, фиксируются кулисообразными или линейно вытянутыми совмещенными аномалиями  $\Delta T$  ( $\Delta Z$ ) и радиоактивности амплитудой 160—240 мА/м и 0,2—0,3 нА/кг соответственно. Картирование на этом месторождении даек диабазов и ортоамфиболитов успешно проведено по данным магниторазведки и электропрофилирования.

При общем поиске рекомендуемый комплекс геофизических методов нередко обеспечивает выделение интрузий гранитоидного состава, к контактовым зонам которых с магнезиально-карбонатными толщами в ряде случаев тяготеют бруситовые залежи. Гранитоидные интрузии среди этих толщ выделяются максимумами  $\Delta T$  ( $\Delta Z$ ), минимумами  $\Delta g$ , а нередко и аномалиями повышенной радиоактивности.

При детальном поиске и поисково-оценочных работах геофизические методы следует применять (см. табл. 2) в первую очередь для выявления и оконтуривания залежей магнезита и оценки элементов их залегания. С этой целью рекомендуется комплексировать грави-, сейсмо-, магнито-

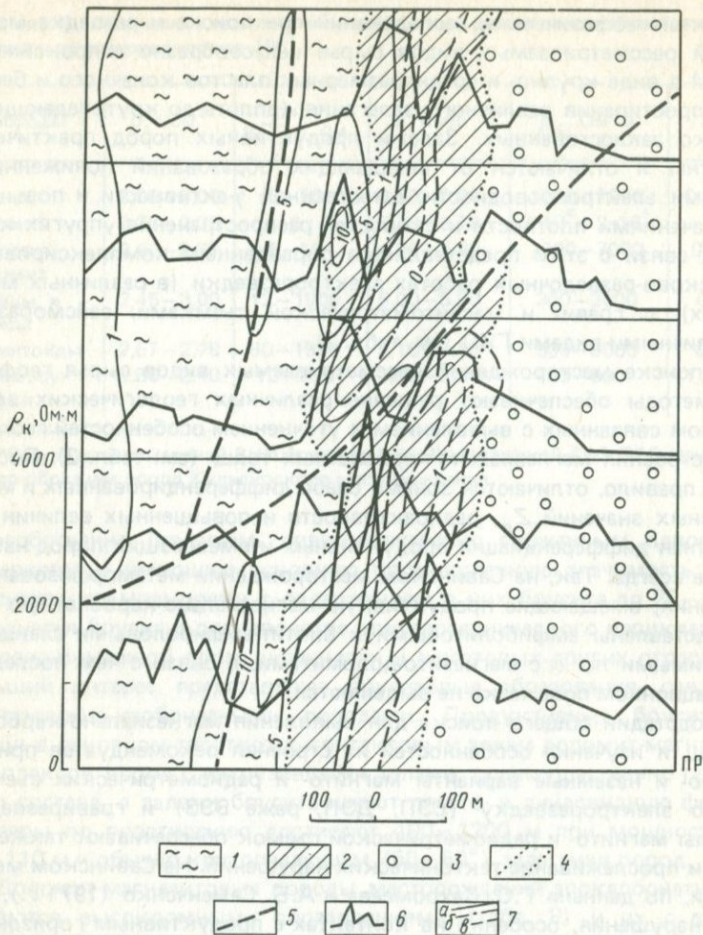


Рис. 27. Результаты магнито- и электроразведки на Савинском месторождении (по Г.С. Вахромееву, 1977 г.).

1 — биотитовые микрогнейсы; 2 — доломит-магнезиты; 3 — биотит-амфиболовые сланцы; 4 — контакты пород; 5 — разрывные тектонические нарушения; 6 — графики  $\rho_k$  (отсчет значений  $\rho_k$  от линии профиля); 7 — изодинамы  $\Delta Z$  (в усл. ед.): а — положительные, б — нулевая, в — отрицательные

и электроразведку. Детальную и высокоточную гравиметровую съемку обычно проводят по отдельным профилям, обеспечивая среднюю квадратическую погрешность результативных построений не более  $\pm 0,1 \times 10^3$  Н/кг. В пределах выявленных гравиметрических аномалий целесообразно постановка сейсморазведочных работ, в том числе и сейсмоскоростного профилирования МПВ. По материалам грави- и сейсморазведочных работ выявляют и оконтуривают залежи магнезита, выделяют и просле-

живают секущие и контролирующие их тектонические нарушения, а также оценивают мощность перекрывающих их рыхлых отложений.

В ряде случаев основные поисковые задачи решаются (и с меньшими затратами) путем комплексирования детальной наземной магнитометрической съемки и электропрофилирования установками СЭП, ДЭП и др. Так, на Савинском месторождении (рис. 27) залежь магнетита выделена зонами повышенных значений  $\rho_k$  (до  $6 \cdot 10^3$  Ом·м) и пониженных величин  $Z_a$  (от 80 до  $-80$  мА/м).

Высокоомные продуктивные залежи выявляли с помощью электроразведки на одном из магнетитовых месторождений ЧССР в районе Цинобана. Для выделения и оконтуривания жил магнетита под наносами электроразведка методом сопротивления использована в Югославии (Голеш), где установлено различие (до 3—4 раз) значений  $\rho_k$  продуктивных пород и вмещающих перидотитов. Применению здесь электроразведки благоприятствовали резкая выраженность контактов магнетитоносных и серпентинизированных образований, значительная протяженность продуктивных жил и крутопадающий характер их залегания.

По результатам работ методом ЕП продуктивная залежь Савинского месторождения отмечена отрицательной аномалией  $\Delta U$  амплитудой до 150 мВ, что обусловлено примесью углистого вещества в магнетитах. Присутствие в продуктивных толщах органики характерно для ряда месторождений магнетита, поэтому целесообразно более широко применять этот метод для выявления и оконтуривания доломит-магнетитовых залежей. На рассматриваемом месторождении в пределах продуктивной толщи встречается также рассеянная сульфидная минерализация. Это позволило использовать для оконтуривания магнетитовой залежи электроразведку МСГ в модификации ВП. По материалам этого метода над продуктивной толщей доломит-магнетитов отмечена аномалия  $\eta_k$ , интенсивность которой, как показано Г.С. Вахромеевым, А.Б. Семенченко и Н.М. Фоковым (1970—1972 гг.), при различных размерах используемых установок изменяется от 1,3 до 5,2 %.

Поисковые работы с использованием магнито- и электроразведки в районе Саткинской группы магнетитовых месторождений (Урал) позволили уточнить особенности геологического строения изучаемых площадей с целью выявления новых и оконтуривания ранее выявленных залежей. Результаты геофизических работ использованы для выбора мест заложения горных выработок, в частности проходки поисковых скважин на аномальных участках. Магнитометрической съемкой в Удерейском магнетитоносном регионе подтверждена практическая немагнитность продуктивных отложений, в частности, на Верхотуровском месторождении, в разрезе которого установлена плотностная дифференциация пород, в первую очередь карбонатов и магнетитов, относительно образований коры выветривания  $\Delta \sigma = 0,52-0,62$  и  $0,73$  г/см<sup>3</sup> соответственно.

При детальном поиске и поисково-оценочных работах геофизические методы целесообразно шире привлекать для прослеживания и оконтуривания интрузивных тел. С этой целью можно использовать магниторазведку, детальную гравиразведку, электроразведку, ГИС в модификациях

КМВ, ГК и др. На ряде магнетитовых и тальковых месторождений интрузивные тела картировались магниторазведкой, по данным которой над ними отмечалась различная интенсивность значений  $Z_a$  в зависимости от их вещественного состава.

Выделять бруситовые залежи среди различающихся по  $\sigma$  и  $\nu$  магнезиально-карбонатных отложений, по-видимому, целесообразно с помощью детальной высокоточной грави- и сейсморазведки, для выяснения особенностей применения и комплексирования которых необходимо проводить опытно-методические работы. Эти же методы целесообразно опробовать и для разделения в продуктивных толщах магнетита и сопутствующего ему доломита исходя из дифференцированности их по  $\sigma$  и  $\nu$ .

Магнетитоносные образования нередко характеризуются повышенной трещиноватостью и закарстованностью, участки развития которых могут выделяться геофизическими методами. Однако эти методы практически не использованы для поиска зон закарстованности магнетита.

Геофизические методы при детальном поиске и поисково-оценочных работах обеспечивают выделение и прослеживание секущих и контролирующих продуктивные толщи тектонических нарушений. Так, на Савинском месторождении дизъюнктивные нарушения различного простирания отмечены линейно вытянутыми аномалиями  $\Delta T$  ( $\Delta Z$ ) интенсивностью до 400–800 мА/м, зонами пониженных (до нескольких сот ом-метров) значений  $\rho_k$ , а узлы пересечения различно ориентированных нарушений — смещениями осей корреляции аномалий  $\Delta Z$  и  $\rho_k$ . Здесь же зонами повышенных значений  $\eta_k$  отмечаются и тектонически ослабленные участки в случае приуроченности к ним сульфидно-кобальтового оруденения.

При предварительной и детальной разведке для выяснения особенностей геологического строения изучаемых площадей (см. табл. 2) необходимо применять наземные геофизические методы, ГИС (ЭК, РК), а при потенциально промышленной металлоносности карбонатно-магнезиальных залежей — и геохимическую съемку. Элементы залегания продуктивных образований целесообразно определять электро- и сейсморазведкой, картировать зоны тектонических нарушений и интрузивных тел — магнито-, грави-, электроразведкой, иногда радиометрической и литогеохимической съемками. Последняя из них (опробование на Ni, Cr, Co, Cu, Zn и Pb) эффективно использована при разведке ряда участков Олот-Савинского междуречья (данные Г.С. Вахромеева и А.Б. Семенченко, 1970 г.).

Широкий комплекс геофизических методов применим для картирования и разведки поверхностных и глубинных карстовых форм. Часть этих методов (ВЭЗ, СЭП, гравиразведка и др.) традиционна и рекомендуется к использованию при разведке месторождений магнетита; другие (электроразведка МДС, геотерморазведка, гамма-спектрометрическая съемка) нуждаются в опытно-методическом опробовании.

Литологическое расчленение разрезов, выделение в них продуктивных толщ и секущих их интрузивных тел рекомендуется в основном выполнять методами ГИС, в первую очередь путем использования различных модификаций РК. При решении таких задач в некоторых скважинах Саткинской группы месторождений использованы ГК, ГГК, ГГКП, НГК

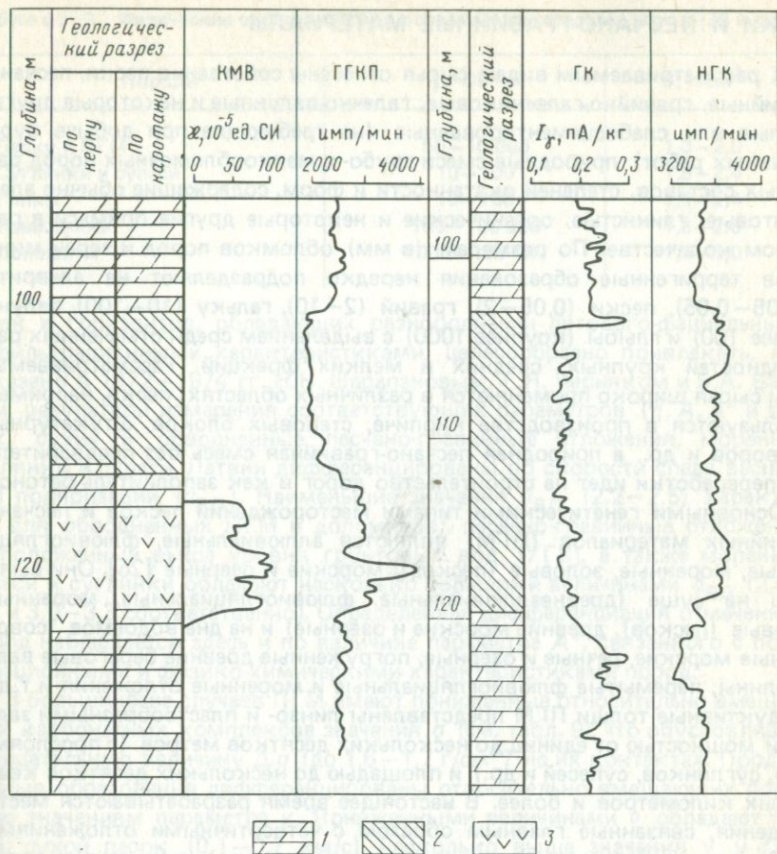


Рис. 28. Результаты ГИС в скважинах месторождений магнетита Саткинской группы (по данным Г.К. Зорина, 1967 г. и Бакальской ГРП, 1975 г.).

1 — доломиты; 2 — магнетиты; 3 — диабазы

и КМВ. При этом относительно вмещающих доломитов толща магнетитов выделяется пониженными значениями на кривой ГК и несколько повышенными значениями на диаграмме НГК (рис. 28). Магнетитоносная толща выделяется также пониженными (по отношению к доломитам) значениями на кривых ГГКП. На кривых ГГКП и КМВ зафиксирован прослой диабазов в магнезиально-карбонатной толще. Целесообразно проводить опытно-методические работы по оценке возможностей ГИС в модификации АК для расчленения магнетитоносных разрезов, а также по разработке методики использования оптимального комплекса ГИС для разведки залежей брусита и бруситовых мраморов. Для прослеживания продуктивных горизонтов и интрузивных тел между горными выработками необходимо использовать электроразведку методом электрической (электродной) корреляции пластов высокого сопротивления.

К рассматриваемым видам сырья отнесены собственно пески, песчано-гравийные, гравийно-галечниковые, галечно-валунные и некоторые другие рыхлые или слабосцементированные (не требующие при добыче буровзрывных работ) природные смеси грубо- и мелкообломочных пород различных составов, степеней окатанности и форм, содержащие обычно алевролитовые, глинистые, органические и некоторые другие примеси в различном количестве. По размерам (в мм) обломков пород и зерен минералов терригенные образования нередко подразделяют на алевриты (0,005—0,05), пески (0,05—2), гравий (2—10), гальку (10—100), валуны (более 100) и глыбы (крупнее 1000) с выделением среди отмеченных разновидностей крупных, средних и мелких фракций. Рассматриваемые виды сырья широко применяются в различных областях: пески, например, используются в производстве кирпича, стеновых блоков, штукатурных растворов и др., а природная песчано-гравийная смесь без предварительной переработки идет на строительство дорог и как заполнитель бетонов.

Основными генетическими типами месторождений песков и песчано-гравийных материалов (ПГМ) являются аллювиальные, флювиогляциальные, моренные, золотые (песков), морские и озерные [26]. Они выявлены на суше (древнеаллювиальные, флювиогляциальные, моренные, золотые (песков), древние морские и озерные) и на дне водоемов (современные морские, речные и озерные, погруженные древние береговые валы и долины, перемытые флювиогляциальные и моренные отложения и т. д.). Продуктивные толщи ПГМ представлены линзо- и пластообразными залежами мощностью от единиц до нескольких десятков метров (с прослоями глин, суглинков, супесей и др.) и площадью до нескольких десятков квадратных километров и более. В настоящее время разрабатываются месторождения, связанные главным образом с четвертичными отложениями.

От вмещающих терригенно-карбонатных и некоторых других пород ПГМ отличаются по ряду физических параметров, в первую очередь по  $\rho$ . Величина последнего у ПГМ в большинстве случаев промежуточна между более высокоомными карбонатными отложениями и относительно низкоомными терригенными породами. Исключение составляют кварцевые пески и песчаники, обладающие сравнимыми с ПГМ значениями  $\rho$ . У ПГМ и вмещающих пород  $\rho$  нередко варьирует в широких пределах (табл. 9), что обусловлено изменениями их гранулометрического состава, степени обводненности, минерализации грунтовых вод, загрязненности глинистым материалом и некоторых других факторов [3 и др.]. В целом ПГМ по  $\rho$  четко не дифференцируются, однако для отдельных их разновидностей в ряде случаев устанавливаются корреляционные зависимости между этим параметром и гранулометрическим составом, а также глинистостью продуктивных отложений.

Отдельные разновидности песчано-глинистых отложений характеризуются близкими значениями  $\rho$ , однако вследствие различий в обводненности, пористости и проницаемости они отличаются по величинам  $\eta$ . В связи с этим для расчленения пород изучаемых разрезов с выделением в них

Таблица 9. Физические свойства ПГМ и основных вмещающих пород [36 и др.]

Породы	$\rho$ , Ом·м	$\sigma$ , г/см <sup>3</sup>
Пески и ПГМ	50—10 000	1,3—2,0
Суглинки и супеси	10—100	1,5—2,4
Глины	10—100	1,2—2,4
Известняки	100—100 000	1,8—2,9
Доломиты	1000—100 000	1,9—3,0

пачек и горизонтов, обладающих разнородными литолого-фациальными и фильтрационными характеристиками, целесообразно привлекать, как показано в 1972—1974 гг. Н.Н. Шарапановым, Г.Я. Черняком и В.А. Бароном, результаты измерения соответствующих параметров ( $\eta$ ,  $A$ ,  $A^*$  и др.). Так, сухие и обводненные песчано-гравийные отложения, моренные суглинки и супеси Латвии дифференцированы по скорости спада вызванной поляризации ( $\alpha_{ВП}$ ). Наименьшие значения  $\alpha_{ВП}$  (2,2—2,5) характерны для обводненных ПГМ и доломитов; песчано-гравийные отложения, расположенные выше уровня грунтовых вод (УГВ), а также моренные супеси и суглинки обладают несколько большими величинами  $\alpha_{ВП}$  (2,5—2,9 и 3,0—3,3 соответственно). Определенная дифференциация отмеченных пород наблюдается здесь и по величине параметра  $A^*$ , связанного с поляризационными и физико-химическими характеристиками пород.

В большинстве случаев ПГМ имеют пониженные относительно вмещающих карбонатных комплексов значения  $\sigma$  (см. табл. 9), что обуславливает отрицательную величину  $\Delta\sigma$  (до 1,6—1,7 г/см<sup>3</sup>) на их контактах. Продуктивные образования дифференцированы относительно вмещающих пород и по значениям параметра  $v$ . Пониженными величинами  $v$  обладают гравий, сухой песок (0,1—0,7 км/с), несколько выше значения  $v$  у глин (1,2—2,5 км/с) и еще значительно выше (до 6 км/с) у карбонатных пород. Связь между значениями  $v$  и влажностью пород обуславливает, как показано в 1961 г. А.Л. Левшиным, различия скоростных характеристик продуктивных и вмещающих отложений в зависимости от их приуроченности к зонам аэрации или обводненности. Для ПГМ характерны пониженные по сравнению с вмещающими глинистыми образованиями величины параметров  $I_\gamma$ . Известна зависимость значения  $I_\gamma$  ПГМ от их гранулометрического состава. Так, в южной части Охотского моря мелководные песчаные осадки характеризуются повышенными величинами  $I_\gamma$  (0,28—0,35 пА/кг), среднезернистые пески несколько меньшими (0,21—0,25 пА/кг), крупнозернистый песок — еще более низкими (0,11 пА/кг). Галечному материалу свойственна, как показано в 1977 г. А.Н. Шацовым, наиболее низкая  $\gamma$ -активность (0,1—0,14 пА/кг), но она нередко возрастает из-за наличия песчано-глинистого материала. Зависимость параметра  $I_\gamma$  песчано-глинистых пород от их глинистости описана в 1957 г. Л.С. Полаком, в 1972 г. В.Н. Дахновым и другими исследователями различными эмпирическими соотношениями, которые целесообразно использовать для дифференциации рассматриваемых пород по содер-

жанию в них пелитовой фракции. В целом ПГМ практически немагнитны, однако отдельные их разности при обогащении магнитоактивными минералами (магнетит и др.) обладают  $k$  до  $250 \cdot 10^{-5}$  ед. СИ и более [23].

Применительно к поиску и разведке месторождений рассматриваемых видов сырья объекты геофизических исследований следует аппроксимировать ФГМ в виде преимущественно субгоризонтально залегающих пластов различной мощности с конечными и бесконечными размерами по простиранию. При этом в продуктивных отложениях значения электрического сопротивления промежуточны относительно вмещающих более высокоомных карбонатов и низкоомных терригенных пород. В зависимости от генетического типа и особенностей геологического строения залежи ПГМ в той или иной степени отличаются от вмещающих пород величинами поляризуемости, плотности, скоростей распространения упругих колебаний, а иногда и естественной  $\gamma$ -активности. В связи с этим при поиске и разведке месторождений ПГМ оправдано комплексирование электро-, грави-, сейсморазведки и ГИС с уточнением используемых модификаций этих методов в зависимости от конкретных геологических условий (см. табл. 2).

Особенности изменения физических свойств ПГМ и вмещающих пород, а также приуроченность продуктивных толщ к определенным геолого-геоморфологическим элементам (палеодолинам и др.), отображающимся в физических полях, создают благоприятные физико-геологические предпосылки для привлечения геофизических методов для поиска и разведки месторождений ПГМ [3, 23, 34].

Рекомендуемые комплексы геофизических исследований (см. табл. 2) должны уточняться для конкретных геологических условий с учетом особенностей залегания покровных пород, коренных отложений и грунтовых вод.

При поиске месторождений ПГМ геофизические методы, в первую очередь электроразведка, обеспечивают решение различных задач (см. табл. 2). Так, на подстадии общего поиска древнеаллювиальных месторождений песка и гравия и электро- (СЭП, ВЭЗ) и гравиразведку целесообразно применять для выявления и прослеживания погребенных врезов (долин) и связанных с ними проявлений ПГМ с ориентировочной оценкой размеров этих проявлений. Выбор основных и дополнительных методов, а также надежность интерпретации геофизических данных в немалой степени определяются влиянием морфологии и строения речных долин и литологией коренных пород. Известно, например, что вблизи крутых склонов долин кривые ВЭЗ нередко искажены эффектом бокового влияния и изучение рельефа коренных пород в таких случаях целесообразно проводить сейсморазведкой МПВ.

Электроразведку рекомендуется привлекать для выявления и прослеживания палеодолин значительной ширины с относительно некрутыми склонами. По данным В.В. Мяскова (1975 г.), в районе г. Набережные Челны (ТатАССР) работами ВЭЗ масштаба 1:100 000 (АВ до 1000 м при шаге наблюдений 500 и 250 м) определено плановое положение палеодолин рек Кама и Ик, прослежены левобережная часть пра-Камы, а также

полоса развития аллювиальных песков. Картирование погребенных долин в плотных породах при мощности рыхлых образований более 20 м в большинстве случаев целесообразно выполнять гравиразведкой. На Северо-Востоке СССР и в Забайкалье древнеаллювиальные и перекрывающие их делювиальные толщи нередко обладают суммарной мощностью 50 — 100 м и более при  $\Delta\sigma$  по отношению к вмещающим породам до  $-(0,4 - 0,7) \text{ г/см}^3$ , вследствие чего они обычно выделяются пониженными значениями  $\Delta g$ . Для поиска месторождений ПГМ на суше целесообразно опробовать метод ЧЭМЗ, который по сравнению с другими модификациями электроразведки обладает повышенной производительностью и разрешающей способностью.

Для установления проявлений флювиогляциальных моренных, древних морских и озерных ПГМ, залегающих на суше под слоем рыхлых образований, рекомендуется использовать в основном ВЭЗ и СЭП. По данным этих методов слои ПГМ выделяются зонами повышенных значений  $\rho_k$  на фоне более низкоомных вмещающих пород, что позволяет по электроразведочным материалам исключать заведомо бесперспективные для поиска ПГМ участки. На месторождениях ПГМ всех типов к общему поиску целесообразно привлекать высокопроизводительную аэроэлектро-разведку, которая успешно использована для картирования не выходящих на земную поверхность месторождений гравия в провинции Саскачеван (Канада).

Для месторождений ПГМ на шельфе, в прибрежной части озер и в руслах рек в ряде случаев одновременно решают задачи общих, детальных и поисково-оценочных работ. Используемый при этом комплекс геофизических методов рассматривается ниже.

При детальном поиске месторождений ПГМ древнеаллювиального, флювиогляциального, моренного, древнеморского и древнеозерного типов следует шире использовать электроразведку (СЭП, ВЭЗ и ПЭЗ). Работы СЭП целесообразно выполнять преимущественно установками двухразносного профилирования с целью оконтуривания участков распространения ПГМ. В случае сложного геологического строения месторождений данных типов оконтуривание их обычно выполняют по данным ВЭЗ с необходимым сгущением сети наблюдений. Контур таких залежей при мощности песчано-гравийных отложений более 10 м в ряде случаев успешно устанавливают и методом радиокип на частотах 10—30 кГц, причем интенсивность аномалий электромагнитного поля обычно возрастает с увеличением мощности продуктивных толщ.

Определение мощности вскрышных пород по данным ВЭЗ нередко выполняется точнее и надежнее, чем оценка мощности залежей ПГМ, что во многих случаях обусловлено значительными изменениями сопротивления последних по латерали и с глубиной. Для определения мощности залежей ПГМ целесообразно использовать метод ПЭЗ. При этом измерительный зонд следует помещать в предварительно разрыхленные породы и регистрировать "послойные" значения  $\rho$  и  $I_\gamma$  пород и подземных вод с целью получения дополнительной информации о петрофизических, литологических и гидрохимических особенностях разреза. Работы ПЭЗ

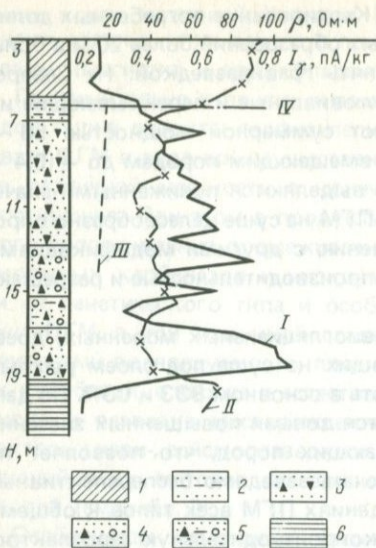
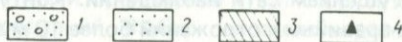
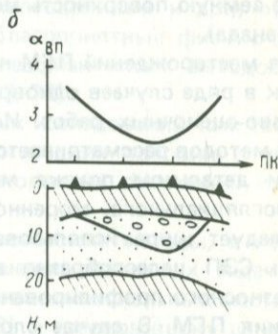
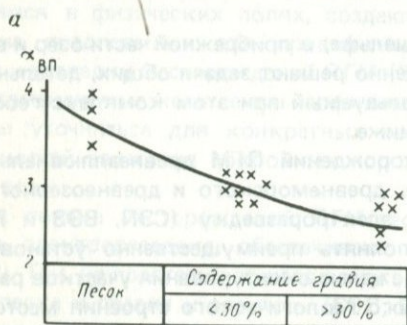


Рис. 29. Диаграммы ПЗЗ на месторождении ПГМ Башкирии (по В.А. Петрову и В.М. Полозкову, 1977 г.).

1 — суглинки; пески; 2 — глинистые, 3 — грубозернистые; ПГМ: 4 — кондиционные, 5 — с примесью глинистого материала; 6 — глины; графики: I —  $\rho$ , II —  $I_\gamma$ , III —  $\rho_v$  (удельного сопротивления воды); IV — уровень грунтовых вод

Рис. 30. Зависимость параметра  $\alpha_{ВП}$  от содержания гравия в ПГМ (а) и изменение этого параметра над залежью ПГМ в Московской обл. (б) (по В.З. Гуревичу, 1977 г.).

1 — залежь ПГМ; 2 — песок; 3 — суглинок; 4 — скважины;  $\alpha_{ВП} = \Delta V_{ВП} (0,5 c) / \Delta V_{ВП} (5 c)$



проводят в 10–15 % точек ВЗЗ для уточнения основных типов кривых ВЗЗ на описываемых площадях. По данным ПЗЗ на одном из месторождений Башкирии песчано-гравийная толща четко выделяется повышенными значениями  $\rho$  и пониженными величинами  $I_\gamma$  (рис. 29).

Для оценки мощности продуктивных толщ, подстилаемых карбонатными, интрузивными и метаморфическими породами, электроразведка ВЗЗ, как правило, неприменима, в связи с чем рекомендуется использовать сейсморазведку МПВ, обеспечивающую решение такой задачи, а также выделение неглубокозалегающих останцев карбонатных и непригодных для эксплуатации сцементированных песчано-гравийных пород. Отме-

ченными методами, особенно электроразведкой, рассмотренные и некоторые другие задачи успешно решаются в различных регионах СССР. Работы СЭП обычно проводят с установками А'АМНВВ' различных размеров по сети (50—100) × (100—500) м, а по более редкой сети (100—500) × (250—1000) м выполняют ВЭЗ. На месторождении Курземе (Латвия) залежь ПГМ оконтурена методом радиокип в сверхдлинноволновом диапазоне. Здесь же успешно опробован метод ЧЭМЗ, внедрение которого в немалой степени сдерживается недостатком аппаратуры, ограниченностью необходимых теоретических исследований и другими причинами.

При поисково-оценочных работах на месторождениях ПГМ древнеаллювиального, флювиогляциального, моренного, древнеморского и древнеозерного типов геофизические методы целесообразно использовать при сложном геологическом строении продуктивных залежей и значительных эпигенетических изменениях пород в их пределах. В таких условиях более обоснованному выбору месторождений и отдельных их участков под разведку способствуют данные ГИС (КС, ГК), выполняемых в отдельных поисковых скважинах, материалы электроразведки (ВЭЗ, ВЭЗ-ВП) и сейсморазведки (МПВ) по отдельным профилям между этими скважинами. Результаты ГИС обычно обеспечивают литологическое расчленение продуктивных толщ, определение мощности и геолого-геофизических характеристик отдельных пластов, а данные ВЭЗ-ВП и сейсморазведки МПВ — оценку гранулометрического состава ПГМ, глубины залегания грунтовых вод, а в ряде случаев и литологическое расчленение разреза. В частности, при оценке по геофизическим данным гранулометрического состава ПГМ в Московской обл. намечена обратная корреляционная связь между изменениями параметра  $a_{ВП}$  и содержанием гравия в продуктивных толщах (рис. 30).

Морские геофизические работы при поиске месторождений ПГМ в шельфовой зоне целесообразно выполнять сейсмогеоакустическими методами, комплексировав при этом ЭЛ, САП и ВСП. Фиксируемые на эхограммах особенности геоакустических сигналов от морского дна позволяют картировать участки развития донных осадков повышенной мощности. В ряде случаев необходимо использовать и другие данные сейсмогеоакустики (ЛБО), а также морские разновидности магнитометрических (ММ, КПМ) и радиометрических (ГМ) съемок. Учитывая особенности морских геофизических работ, целесообразно одновременно комплексировать большее число отмеченных методов.

По данным САП выявляют затопленные аллювиальные образования, выясняют особенности субазального рельефа, очертаний древних береговых линий и рельефа коренного ложа, оценивают мощности рыхлых отложений различных фаций. Более надежное прослеживание и расчленение рыхлых отложений шельфа рекомендуется осуществлять путем совместной интерпретации данных САП и ВСП.

Изучается возможность разрабатываемого сейсмоакустического метода для дистанционной классификации осадков с выделением в них крупно-, средне- и мелкозернистых разностей ПГМ. На мелководье, где кратные волны затрудняют выделение полезных отражений, целесообразно

вместо САП и ВСП использовать морскую электроразведку в модификации МЭЗ с различными установками, которые применимы и для работ зимой со льда. Геофизики Латвии на ряде участков Ирбенского пролива успешно провели геофизические работы путем комплексирования электроразведки (МЭЗ), радиометрических (ГМ) и сейсмогеоакустических исследований (ЭЛ) с необходимыми объемами разведочного бурения и выявили крупное месторождение ПГМ Овиши, приуроченное к современным осадкам Балтийского моря. В США при поисках залежей ПГМ на континентальном шельфе преимущественно используется морская сейсморазведка.

Комплекс геофизических методов (включая и электроразведку), используемый при поиске месторождений ПГМ шельфовой зоны, целесообразно применять и для поиска залежей ПГМ в прибрежной части озер и русл рек. Определенный опыт таких работ (летних, зимних, преимущественно электроразведочными методами) имеется в ряде организаций (Средневолжская ГРЭ ПГО Центргеология и др.). Французские геофизики при поисках залежей ПГМ на небольших (до 20 м) глубинах в водах Эльзаса успешно опробовали сейсмическое профилирование.

При поиске месторождений ПГМ обоснованная стадийность и комплексность геофизических (и особенно геолого-геофизических) работ уменьшают сроки проведения последних, а также повышают их геологическую результативность и экономическую рентабельность. По данным ПГО Центргеология, при этом снижается и стоимость общего цикла поисково-разведочных работ (для стройматериалов примерно на 30 %). Необходимость же геофизических работ при разведке месторождений ПГМ должна обосновываться с учетом экономической целесообразности их проведения. Ниже приведены рекомендации, относящиеся к предварительной разведке геологически сложных месторождений рассматриваемых видов сырья.

При предварительной разведке различных месторождений ПГМ на суше геофизические методы обеспечивают оценку запасов ПГМ, их гранулометрического состава, качества и некоторых горнотехнических параметров, литологическое расчленение разреза, корреляцию продуктивных толщ, определение мощности последних и мощности вскрышных пород, уточнение глубины залегания уровня грунтовых вод (УГВ), а также решение некоторых других геологических задач (см. табл. 2). Для этих целей рекомендуется использовать данные ГИС (КС, ГК), электроразведки (ВЭЗ, ПЭЗ, ВЭЗ-ВП) и сейсморазведки (МПВ). Последняя позволяет определять также глубины залегания водоносных горизонтов и мощность полезной толщи, залегающей на карбонатных породах. Опробование некоторых других модификаций РК (ГГК, НГК, ННК), а также высокоточной магниторазведки предлагается для оценки их геологических возможностей применительно к изучению пористости и гранулометрического состава продуктивных пород.

При предварительной разведке месторождений ПГМ в шельфовой зоне, в прибрежной части озер и русл рек рекомендуется тот же комплекс геофизических методов, что и при поисковых работах (см. табл. 2), но

с более высокой плотностью наблюдений. Возможно более полный комплекс геофизических методов необходимо использовать для оценки запасов ПГМ и определения некоторых горнотехнических параметров применительно к последующей эксплуатации месторождений ПГМ. На месторождениях шельфовой зоны для оценки некоторых физических параметров пород в естественном залегании целесообразно также в комплексе с ВСП опробовать и ГИС в модификациях АК, КС и ГК.

Геофизические исследования при поиске и разведке месторождений ПГМ и кварцевых песков во многом сходны. Однако залежи этих видов сырья различаются по генетической приуроченности, пространственной локализации, морфологии продуктивных тел, некоторым физическим свойствам продуктивных пород и их дифференцированности относительно вмещающих. Вследствие этого методика геофизических исследований на ПГМ и кварцевые пески характеризуется некоторыми специфическими особенностями: (форма поисковой сети, масштабность работ и др.). Опыт геофизических работ применительно к поиску и разведке кварцевых песков по отдельным регионам (Латвия, Урал и др.) целесообразно обобщить, проанализировать и разработать соответствующие методические рекомендации.

## ПОЛЕВОШПАТОВОЕ СЫРЬЕ

К полевошпатовому сырью относят различные алюмосиликатные породы (граниты, пегматиты, кислые и щелочные вулканиты, нефелиновые сиениты, пески и т.д.) и концентраты из них (кварц-полевошпатовые, полевошпатовые, нефелино-полевошпатовые), которые используются в качестве плавня, глиноземного и щелочного компонентов и инертного наполнителя в различных отраслях промышленности.

Наиболее распространены месторождения гранитных пегматитов, которые в зависимости от их специализации подразделяются на отдельные, обособляющиеся в пространстве, разновидности [26]: керамическую (кварц-полевошпатовую), мусковитовую, редкометалльную, хрустальноносную и т.д. Месторождения гранитных пегматитов подразделяются на типы дифференцированных и недифференцированных пегматитов, первые из которых приурочены к гранитогнейсовым комплексам и обычно представлены (Карелия, Иркутская обл.) жилообразными телами длиной от десятков до сотен метров при мощности от долей метра до 50—70 м. Среди недифференцированных пегматитов, также связанных с гранитогнейсовыми образованиями (Украина и др.), выделяются разновидности калиевого и калиево-натриевого состава. Из керамических пегматитов наибольшее применение находят калиево-натриевые разности, являющиеся основными источниками полевошпатового сырья и широко используемые в производстве стекла, керамики, электротехнических, абразивных, сварочных изделий.

Основные физические свойства пегматитов рассмотрены ниже в разделе "Слюды". Отметим, что отдельные разности керамических пегматитов недостаточно дифференцированы между собой по  $\rho$ ,  $\kappa$ ,  $l_\gamma$  и некоторым

другим параметрам, при более значительном отличии их по этим свойствам от вмещающих пород. Околожильные зоны обычно характеризуются экзоконтактовыми изменениями химического, минералогического, петрографического состава, а соответственно и изменениями физических свойств пород.

В Северном Приладожье биотитовые сланцы, вмещающие жилы керамических пегматитов, характеризуются различной  $\kappa$ :  $(13-150) \cdot 10^{-5}$  ед. СИ на островах Питкярантского архипелага ( $\kappa_{\text{ср}} = 38 \cdot 10^{-5}$  ед. СИ) и  $(113-1000) \cdot 10^{-5}$  ед. СИ на участках Люпикко и Юляристи ( $\kappa_{\text{ср}} = 560 \times 10^{-5}$  ед. СИ), что связано, как показано в 1975 г. Т.С. Игнатьевой и Г.П. Сафроновой, с изменением содержания некоторых рудных минералов (магнетит, пирротин). Кроме того,  $\kappa$  сланцев варьирует в зависимости от расстояния до контакта с пегматитовыми жилами, причем на удалении около 5 м  $\kappa = (19-150) \cdot 10^{-5}$  ед. СИ ( $\kappa_{\text{ср}} = 69 \cdot 10^{-5}$  ед. СИ), что считается "средним фоновым" значением магнитной восприимчивости этих пород. Непосредственно же на контактах с пегматитовыми телами отмечаются зоны измененных биотитовых сланцев (мощностью не менее 3 м), в пределах которых  $\kappa$  сланцев по отношению к "средним фоновым" значениям уменьшается примерно вдвое и более ( $\kappa_{\text{ср}} = 25 \cdot 10^{-5}$  ед. СИ) при общем изменении в пределах  $(13-38) \cdot 10^{-5}$  ед. СИ. Еще меньше  $\kappa$  сланцев в зоне ближнего экзоконтакта (0,1-1,0 м). Значения параметра  $I_r$  у биотитовых сланцев в экзоконтактовых зонах обычно также понижены по сравнению с  $I_r$  у этих пород на больших удалениях от жил.

На контактах с керамическими пегматитами зачастую наблюдаются и изменения плотности вмещающих биотитовых сланцев, которая в целом варьирует от 2,69 до 2,79 г/см<sup>3</sup>. На участках Люпикко и Юляристи  $\sigma_{\text{ср}}$  биотитовых сланцев около 2,75 г/см<sup>3</sup>, что несколько больше  $\sigma_{\text{ср}}$  этих же сланцев (около 2,73 г/см<sup>3</sup>) на островах Питкярантского архипелага. В ближних экзоконтактовых ореолах (0,1-0,15 м)  $\kappa$  пегматитовым жилам  $\sigma$  сланцев несколько уменьшается, однако она изменяется в более узких пределах, чем  $\kappa$ . Для ряда продуктивных жил (Серая Горка, Линнаваара) Питкярантского пегматитового поля, а также жил на западном берегу залива Мурсуланлахти и на некоторых островах Питкярантского архипелага вмещающими породами являются амфиболовые сланцы и сланцеватые амфиболиты. На удалении от жил более 2,5-3,0 м  $\sigma_{\text{ср}}$  этих пород обычно около 3,0 г/см<sup>3</sup>, несколько выше она (3,02-3,03 г/см<sup>3</sup>) на меньших удалениях от контакта с керамическими пегматитами, а в зоне ближнего экзоконтакта (0,1-0,15 м)  $\sigma_{\text{ср}}$  уменьшается примерно до 2,90 г/см<sup>3</sup>. Амфиболовые сланцы характеризуются  $\kappa_{\text{ср}} = (82-94) \times 10^{-5}$  ед. СИ, но в непосредственной близости к пегматитовым жилам (0,1-0,15 м) эти сланцы, согласно Т.С. Игнатьевой и Г.П. Сафроновой (1975 г.), имеют практически нулевые значения  $\kappa$ .

Околожильные изменения параметров  $\kappa$ ,  $I_r$  и  $\sigma$  в породах, вмещающих керамические пегматиты, наблюдаются также и на месторождениях комплексных (сланцево-керамических) и слюдяных пегматитов. На последних в околожильном пространстве изменяются, нередко весьма значительно, параметры  $\eta$ ,  $\epsilon$  и  $\kappa_n$  вмещающих пород [8]. Переход от слюдя-

ных пегматитов к комплексным, а от последних к их керамическим разностям сопровождается, как показано Н.М. Бугровым, Н.И. Холодоком, А.Б. Наливкиным и А.Я. Вохменцевым, повышением содержания ВаО в микроклинах (0,01–0,05; 0,1–0,3 и 0,27–1,5 % соответственно), а также понижениями концентраций РЬ и U [(83–260)·10<sup>-4</sup> и (0,2–2,5) × 10<sup>-4</sup>, (67–145)·10<sup>-4</sup> и (0,4–7,0)·10<sup>-4</sup>, (36–118)·10<sup>-4</sup> и (0,6–19,5) × 10<sup>-4</sup> % соответственно].

Особенности изменения физических свойств рассматриваемой группы полезных ископаемых и их геологического строения являются физико-геологическими предпосылками к использованию геофизических методов при геологоразведочных работах. Соответствующие вопросы геофизических исследований и рекомендуемая комплексность их проведения применительно к одной из групп пегматитов рассмотрены в разделе "Слюды" (см. табл. 2). Сходство же особенностей геологического строения слюдоносных и других групп пегматитов предопределяет возможность привлечения и практического использования выработанных рекомендаций о последовательности, комплексности, методике, технике геофизических исследований и их геологических возможностях для поиска и разведки керамических и слюдяно-керамических пегматитов, а также нерассматриваемых здесь редкометалльных, хрусталеносных и камнесамоцветных пегматитов, для которых некоторые вопросы геофизических исследований, имеющие определенную специфичность [5], рассмотрены в разделе "Пьезооптические минералы и жильный кварц" (см. табл. 2).

Геофизические исследования на керамические и слюдяно-керамические пегматиты проводились в Карельской АССР и Мурманской обл., а их материалы успешно применялись для выяснения особенностей геологического строения прогнозно-перспективных территорий и выделения на них площадей развития метаморфических образований. На подстадии общего поиска геофизические данные целесообразно использовать для изучения структурно-тектонического картирования пегматитоносных зон и перспективной оценки закрытых площадей на их пегматитоносность. При поисково-оценочных работах геофизические методы необходимо использовать для изучения зон экзоконтактных изменений и выделения участков, перспективных на обнаружение керамических и слюдяно-керамических пегматитов. Нередко для выявления пегматитовых тел успешно применяют и различные методы межскважинного просвечивания. Разведка месторождений с использованием геофизики позволяет оперативно оценивать размеры и элементы залегания пегматитовых тел, а в некоторых случаях и их вещественный состав.

Для решения отмеченных задач целесообразно привлекать широкий комплекс геофизических методов, в целом сходный с рекомендованным для поиска и разведки месторождений слюд (см. табл. 2), а частично также для месторождений пьезооптических минералов и жильного кварца (см. табл. 2). Так, поиск пегматитовых жил в Карело-Кольском регионе выполняют преимущественно электроразведкой в модификациях СЭП и МСГ, однако неоднородности геологического строения изучаемых разрезов

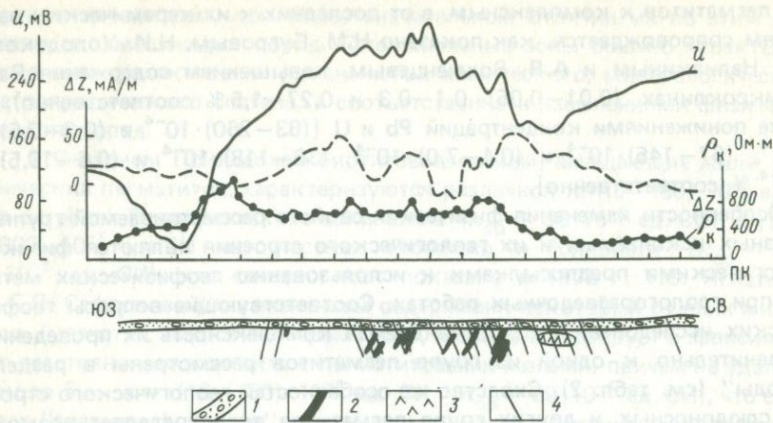


Рис. 31. Графики потенциала ЕП,  $\Delta Z$  и  $\rho_k$  на месторождении Хетоламбина [12]. 1 — четвертичные отложения; 2 — пегматитовые жилы; 3 — габбро-нориты; 4 — скважины

и не всегда достаточная дифференцированность пегматитов и вмещающих пород по  $\rho$  в ряде случаев затрудняют уверенное и надежное выявление и прослеживание пегматитовых жил только по одним электроразведочным данным. Использование в этих же целях магниторазведки и радиометрии обычно не дает положительных результатов вследствие недостаточного различия пегматитов и вмещающих пород по соответствующим геофизическим параметрам. Заслуживает внимания и более широкого опробования в других регионах рассмотренная в 1978 г. А.И. Грининым, В.М. Егоровым, Ю.Б. Кравченко и др. методика поиска пегматита на Коростенском плутоне.

При поиске пегматитов все большее применение находит пьезоэлектрический метод, успешно опробованный на месторождениях Украины, Северной Карелии и ряда других регионов. Установлена также приуроченность к пегматитовым жилам положительных аномалий  $\eta_k$  и ЕП (рис. 31). Работами Г.Ш. Меламеда показано, что содержание К и других элементов в микроклиновом пегматите успешно определяется по данным рентгено-радиометрических исследований. Выработка рекомендаций по применению геофизики для поиска и разведки гранитов, аляскитов, полевошпатовых песков и некоторых других разновидностей полевошпатового сырья связана с необходимостью предварительного проведения на этих объектах соответствующих опытно-методических работ.

## ПРИРОДНАЯ СОДА

Месторождения и проявления природной соды, имеющей промышленное значение, относятся к лимногенному и катагенному генетическим типам, основным из которых является первый, представленный эвапоритовыми залежами троны, натрона, термонатрита и других минералов в кон-

тинентальных соленосных формациях. Ископаемые месторождения природной соды в СССР неизвестны. В настоящее время разрабатывается лишь уникальное месторождение природной троны формации Грин—Ривер в одноименной впадине (США), а в СССР к современным месторождениям соды лимногенного типа относятся отложения и подземные рассолы Кулундинской степи, Забайкалья и некоторых других регионов. На месторождениях катагенного типа продуктивные вторичные образования давсонита (являющегося сырьем на соду и алюминий) в терригенно-карбонатных отложениях, выявленных в СССР в Припятской впадине, Кузбассе и Закарпатье.

Солеродные бассейны содового типа возникают, как показано в 1973 г. Ю.В. Баталиным, Б.С. Касимовым и Е.Ф. Станкевичем, в обстановке континентального режима, в связи с чем содоносные отложения генетически связаны преимущественно с озерно-континентальными фациями, приуроченными к межгорным депрессиям, чаще округлой формы, к краевым и внутренним впадинам платформ с мощным чехлом континентальных отложений и к крупным авлакогенам. Используется сода в химической, стекольной, текстильной, лакокрасочной, бумажной, мыловаренной, фармацевтической отраслях промышленности, а также в медицине, в производстве резины, спичек.

Содоносные отложения практически немагнитны и обладают пониженными значениями  $\sigma$  и  $\rho$ . Это позволяет использовать геофизические методы для выявления и изучения содоносных отложений [18]. Ограниченное число известных месторождений и проявлений природной соды и незначительные объемы проведенных в их пределах геофизических исследований позволяют высказать лишь некоторые рекомендации по применению геофизических методов в поисково-разведочной практике (см. табл. 2) с последующим уточнением этих рекомендаций по результатам тематических и опытно-методических работ.

При поиске и разведке месторождений рассматриваемого вида сырья объекты геофизических исследований следует аппроксимировать ФГМ в виде пластообразных тел различных размеров и условий залегания, которые в отличие от вмещающих пород практически немагнитны, обладают пониженными значениями плотности, упругих свойств и электрического сопротивления, а также отзываются на облучение быстрыми нейтронами. Кроме того, для площадей развития содоносных образований характерны специфичные гидрогеохимические режимы. Поэтому при поисково-разведочных работах оправдано комплексирование электро-, магнито-, и гравиразведки, различных видов ГИС (ЭК, НАК и др.) и гидрогеохимической съемки (см. табл. 2).

На отдельных подстадиях поисковых работ рекомендуется привлекать к решению ряда задач (см. табл. 2) геофизические методы в комплексе с геологическими и геохимическими. Так, картирование озерно-континентальных отложений, представленных глинами, суглинками, песками, и определение их мощности возможны по данным сейсмо- и электроразведочных (ВЭЗ, СЭП) работ. Выявление и трассирование тектонических нарушений, как правило характеризующихся существенным

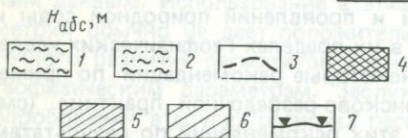
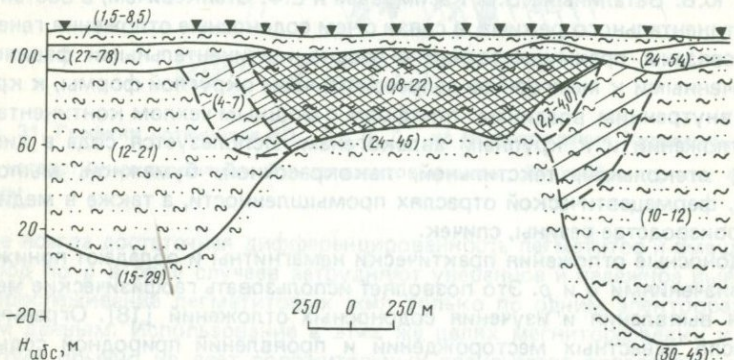
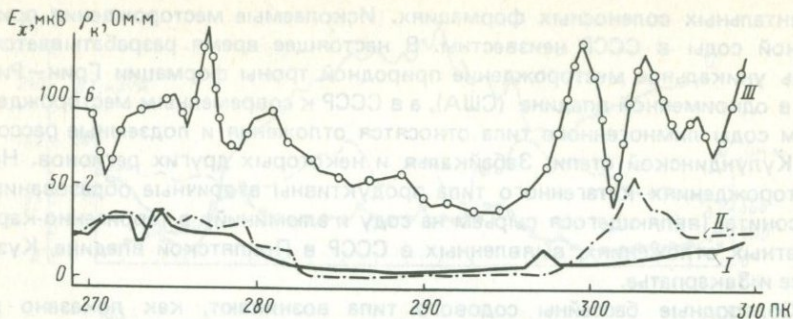


Рис. 32. Геоэлектрический разрез в районе Кулундинских содовых озер (по В.М. Рычкову и Е.И. Глазичеву, 1974 г.).

1 — глины (?); 2 — песчано-глинистые породы (?); 3 — границы зон с различной минерализацией; зоны распространения подземных минерализованных вод с минерализацией и сопротивлением соответственно: 4 — > 50 г/л и 0,8 — 2,2 Ом·м, 5 — 25—50 г/л и 2,3—4 Ом·м, 6 — 10—25 г/л и 4—7 Ом·м; 7 — точки ВЭЗ; графики:  $\rho_k$  по данным СЭП при  $AB/2 = 100$  м (I) и при  $AB/2 = 25$  м (II);  $E_x$  по данным метода радиокип (III); цифры в скобках — значения  $\rho_k$  по данным ВЭЗ

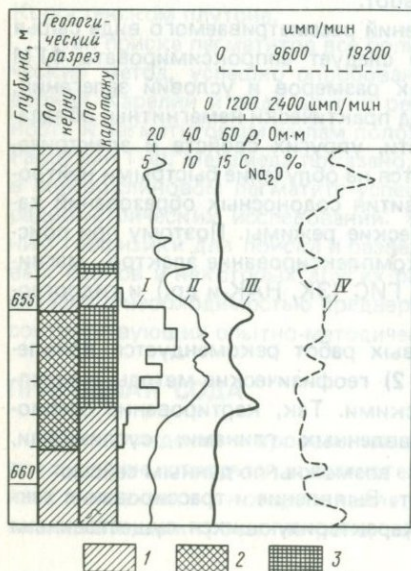


Рис. 33. Выделение давсонитовой минерализации по данным НАК-<sup>24</sup>Na в интервале пород повышенного сопротивления (по материалам БелНИГРИ).

1 — бокситовая порода; интервал давсонитовой минерализации, по данным: 2 — опробования керна, 3 — ГИС; графики: I — содержания  $Na_2O$  по керну, II — КС (A2, 5M0, 25N), III — НАК-<sup>24</sup>Na, IV — СГК по Th

отличием некоторых физических полей, можно осуществить различными геофизическими методами, оптимальный комплекс которых выбирается и опробуется с учетом особенностей геологического строения опосредованных площадей.

Оконтуривание площадей распространения минерализованных вод в районах развития озер содового типа и определение глубин их залегания следует выполнять с привлечением данных электроразведки. Благоприятной предпосылкой для ее постановки является различие значений  $\rho$  соленосных озерных отложений (до 0,3—0,5 Ом·м) и обломочных пород (10—10<sup>5</sup> Ом·м) в зависимости от обводненности и степени минерализации вод [44], вследствие чего линзы соленосных отложений и рассолов, как правило, отмечаются зонами пониженных величин  $\rho_k$  (рис. 32).

При поисковых работах геофизические исследования должны шире комплексироваться с геохимическими методами и в первую очередь с гидрогеохимическим, с помощью которого определяются типы подземных вод, пути их миграции и оцениваются перспективы площадей на содоносность. Для изучения особенностей геологического строения разреза, в частности его глубоких горизонтов, необходимо полнее использовать материалы ГИС (КС, ГК, НГК, ГГК, БК, Кав. и др.) [17].

Существенную роль в изучении содоносных отложений геофизические методы и в первую очередь ГИС должны играть при предварительной и детальной разведке. Соответствующие исследования с целью литологического расчленения разреза, выявления и корреляции продуктивных горизонтов проведены сотрудниками БелНИГРИ на проявлениях давсонита Припятской впадины. Одно из них представлено прослоями давсонитосодержащих пород различной мощности (0,2—1,9 м) в бокситовом горизонте, залегающем на глубине 440—1200 м. Предпосылками использования различных модификаций ГИС служат повышенные значения  $\rho$  и  $\sigma$  давсонита (2,1—2,5 г/см<sup>3</sup>) и пониженное содержание в нем радиоактивных элементов по сравнению с бокситосодержащими породами. Вследствие этого на диаграммах ЭК и ГК давсонитосодержащие породы отмечаются повышенными значениями регистрируемых параметров [18].

Для разбраковки аномалий, вызванных давсонитосодержащими горизонтами и глинисто-карбонатными сидеритсодержащими прослоями, обладающими близкими значениями  $\sigma$ ,  $\rho$  и  $I_\gamma$ , необходима постановка НАК-<sup>24</sup>Na, на диаграммах которого давсонитосодержащие пласты обычно фиксируются повышенными значениями  $I_{H\gamma}$  (рис. 33). Кроме того, данные НАК-<sup>24</sup>Na позволяют определять процентное содержание давсонита по разрезу скважины (в БелНИГРИ получены соответствующие пересчитанные коэффициенты) и использовать данные ГИС для подсчета запасов.

Возможность оценки запасов солей в подземных минерализованных водах по геофизическим материалам установлена работами ПГО Запсибгеология в районе Кулундинских содовых озер. С этой целью использована формула  $m = SHCk_n$ , где  $m$  — масса солей (кг);  $S$  — площадь распространения минерализованных вод (м<sup>2</sup>);  $H$  — мощность водоносного горизонта (м),  $C$  — минерализация подземных вод (кг/м<sup>3</sup>) и  $k_n$  — коэффициент пористости водонасыщенных пород (%). Параметры  $S$ ,  $H$ ,  $C$  и  $k_n$  определяют по геолого-геофизическим данным.

## ПЬЕЗООПТИЧЕСКИЕ МИНЕРАЛЫ И ЖИЛЬНЫЙ КВАРЦ

Общность используемых при поисково-разведочных работах геофизических методов позволяет совместно рассматривать минеральные<sup>1</sup> разновидности жильного и россыпного кварца (пьезокварц, оптический и сырье для плавки), исландский шпат и оптический флюорит. Пьезоэлектрические, оптические и некоторые другие свойства рассматриваемых видов сырья позволяют использовать их в радиотехнических устройствах, ультразвуковой и инфракрасной технике, оптике, при производстве высококачественного кварцевого стекла и в других областях.

Основными генетическими типами месторождений кварца являются пегматитовый, гидротермальный и россыпной [28]. Продуктивные залежи месторождений первого типа приурочены к полостям (занорышам) в телах камерных пегматитов и связаны с контактными зонами гранитоидных интрузий. Размеры полостей достигают 10—20 м в длину и более 50 м<sup>3</sup> в объеме. Кварцевые тела гидротермального типа в основном тяготеют к эндо- и экзоконтактовым зонам гранитоидных массивов, а также к метаморфическим породам и представлены безрудными хрусталеносными жильными зонами, кварцевыми жилами и минерализованными трещинами, размеры которых в большинстве случаев не превышают 20—30 м по простиранию и 5—10 м по падению. Их характерная особенность — наличие открытых полостей, содержащих кристаллы кварца, иногда значительных размеров. Месторождения россыпного типа связаны с корами физико-химического выветривания коренных кварцевых и пегматитовых тел. Хрустальсодержащие месторождения кварца рассматриваемых типов являются промышленными источниками оптического кварца и пьезокварца, а пегматитового типа — также и оптического флюорита, который в отдельных случаях встречается и в собственно флюоритовых телах. Промышленно значимые месторождения исландского шпата пространственно и генетически связаны с эффузивными и интрузивными породами трапповой (базальтовой) формации. Шпато- и флюоритоносные залежи, приуроченные к карбонатным комплексам пород, имеют меньшее практическое значение.

Отдельные разновидности рассматриваемого сырья отличны от вмещающих пород по своим магнитным, электрическим, пьезоэлектрическим и в меньшей степени — по плотностным, упругим и теплофизическим свойствам<sup>2</sup> (табл. 10). Физические свойства продуктивных минералов и пород более выдержаны, чем свойства вмещающих образований; их вариации зависят от характера гидротермальных и других метаморфических преобразований, степени тектонической нарушенности. Хрусталеносные жиль-

<sup>1</sup> Различные вопросы, связанные с синтетическими разновидностями рассматриваемых минералов, нами не затрагиваются.

<sup>2</sup> Частично физические свойства отдельных разновидностей пьезооптических минералов и жильного кварца, а также некоторые методические рекомендации по геофизическим исследованиям при их поиске и разведке затронуты в разделах "Слюды", "Полевошпатовое сырье" и "Флюорит".

Таблица 10. Физические свойства пьезооптических и жильно-кварцевых минералов и вмещающих образований (по Н.Б. Дортман, Б.А. Борисову, А.Я. Зюзину, С.Н. Кондрашову, Н.М. Нейштадту и др.)

Минералы и породы	$10^{-5} K$ , ед. СИ	$\rho$ , Ом·м	$d \cdot 10^{-17}$ , Кл/Н	$v_g (v_{cp})$ , км/с	$\sigma$ , г/см <sup>3</sup>	$\lambda$ , Вт/(м·К)	$C$ , Дж/(кг·К)	$a$ , $10^{-7}$ м <sup>2</sup> /с
Кварц	0—2,5	$10^6 - 10^{14}$	0,15—5,67	6,03—6,25 (4,11)	2,52—2,91	6,5—13,2	0	—
Исландский шпат	0—25, реже до 90	$3 \cdot 10^2 - 16 \cdot 10^3$	—	—	2,6—2,8	—	—	—
Карбонаты	0—6	$10^4 - 10^7$	0	1,0—5,5	2,68—2,72	2,4—2,56	857—887	11,03—11,27
Кварциты	0—50	$10^6 - 10^8$	—	—	2,50—2,66	5,26	991	17,89
Туфы	0—380	$2 - 3 \cdot 10^2$	—	—	1,8—2,2	—	—	—
Гнейсы, сланцы кристаллические	12—125	$10^3 - 10^5$	0	5,7—5,9 (2,85)	2,66—3,00	2,02—2,46	979—1046	7,32—9,60
Интрузивные траппы	380—4400	$0,6 \cdot 10^2 - 2,6 \cdot 10^3$	—	4,4—5,95	2,7—2,9	—	—	—
Эффузивные траппы	730—2300	$3 \cdot 10^2 - 10^3$	—	2,9—6,2	2,6—3,0	—	—	—
Габбро, диабазы	—	$5 \cdot 10^5 - 3 \cdot 10^7$	0	6,4—7,25 (2,8—3,7)	2,79—2,95	2,28—2,29	860—1005	9,51—9,72
Гранитоиды, диориты	—	$10^6 - 7 \cdot 10^7$	0,06—1,23	5,6—6,2 (2,75—6,0)	2,57—2,81	2,11—2,40	946—1136	5,15—9,28

ные образования в целом практически немагнитны и в случае приуроченности к более магнитоактивным вмещающим образованиям обычно выделяются узкими локальными аномалиями пониженных значений  $\Delta Z$ , особенно контрастно — при незначительности  $k$  у измененных околожильных пород. Продуктивные залежи исландского шпата также являются слабомагнитными образованиями, однако отмечаются они как максимумами  $\Delta Z$  (при залегании в зонах гидротермальной проработки долеритов), так и минимумами геомагнитного поля (при нахождении в зонах дробления трапповых тел долеритового состава). В последнем случае повышенные значения поля  $\Delta Z$  над траппами нередко "осложнены" локальными минимумами над отдельными шпатоносными зонами.

Породы хрусталеносных кварцевых и пегматитовых жил имеют по сравнению с вмещающими образованиями обычно более высокие значения  $\rho$  [23]. У продуктивных и вмещающих пород хрустале- и шпатоносных объектов  $\rho$ , как правило, существенно изменяется в зависимости от степени их тектонической нарушенности и характера гидротермальной проработки. Различная степень трещиноватости материала и характер околожильных изменений вмещающих пород (серицитизация, каолинизация и др.) нередко обуславливают достаточно широкие пределы, в которых варьирует их  $\rho$ , вследствие чего в жилах, выполненных высокоомными кварцевыми образованиями, нередко встречаются участки развития пород повышенной электропроводности. Пьезокварц имеет высокое  $\rho$  ( $10^9 - 10^{11}$  Ом·м),  $\sigma$  его примерно  $2,65 \text{ г/см}^3$ , значения  $v$  в нем около  $6,14 \text{ км/с}$  [44]. Пьезокварцевые пегматиты в отличие от мусковитоносных и редкометалльных характеризуются, как показано в 1972 г. И.Л. Комовым, М.А. Араповым и в 1974 г. Л.В. Оганесян, Р.В. Вязовой, развитием ореолов рассеяния F, K, Na, а хрусталеносные гидротермальные жилы — вторичными ореолами рассеяния Na, K, Hg и Cl.

Применительно к поиску и разведке месторождений рассматриваемых видов сырья объекты геофизических исследований следует представлять ФГМ, специфичными для отдельных генетических типов месторождений и видов сырья. Так, кварцевые тела гидротермального типа можно аппроксимировать жильно-трещинными образованиями, для которых характерны незначительные размеры и различные условия залегания. Залежи такой разновидности кварцевого сырья отличаются от вмещающих пород магнитной восприимчивостью, электрическим сопротивлением, пьезомодулем, плотностными, упругими, теплофизическими свойствами и сопровождаются ореолами рассеяния ряда типоморфных элементов. Кроме того, особенности дифференциации физических свойств у продуктивных и вмещающих образований в немалой мере предопределяются характером гидротермальных и других метаморфических преобразований и степенью тектонической нарушенности. В связи с отмеченным оправдано преимущественное комплексование электро-, магнито- и гравиразведки, метода ПЭМ, различных видов ГИС и литогеохимической съемки (см. табл. 2).

Дифференциация продуктивных и вмещающих пород по  $k$  и  $\rho$ , а также отличия кварцево-жильных и вмещающих пород по пьезомодулям, эффек-

тивными атомным номерам, теплофизическим и некоторым другим свойствам создают благоприятные физико-геологические предпосылки для привлечения геофизических методов к решению задач по поиску и разведке отдельных разновидностей рассматриваемого сырья [23].

Рекомендации по комплексированию геолого-геофизических методов при поисках месторождений пьезооптических минералов и жильного кварца учитывают специфику решения соответствующих задач на отдельных поисковых подстадиях и нередко в условиях значительной изменчивости геологической обстановки и геофизических параметров (см. табл. 2). Для месторождений пегматитового типа вмещающей средой являются граниты, практически не отличающиеся от пегматитов по физическим параметрам [5]. В связи с этим непосредственное выявление пегматитовых тел при общем поиске большинством геофизических методов невозможно. Более целесообразен поиск пегматитовых жил по косвенным признакам, в частности по их приуроченности к зонам дробления и повышенной трещиноватости [5]. Тектонически ослабленным зонам в гранитах отвечают аномалии пониженных значений  $\Delta Z$ ,  $V_{zx}$ ,  $\rho$  и тенденция к повышению  $\gamma$ -поля. По данным отдельных методов дифференцированность пород по этим свойствам недостаточно четкая (рис. 34), поэтому рекомендуется пересчитывать соответствующие параметры в интегральную функцию комплексного геофизического показателя, что обеспечивает надежное выделение перспективных пегматитоконтролирующих структур [5]. Для поиска крупных и ненарушенных пегматитовых тел необходимо использовать высокочастотную сейсморазведку, нередко позволяющую выделять такие структуры по характерным особенностям волновых полей над собственно пегматитами и вмещающими породами.

При общем поиске месторождений гидротермального типа (см. табл. 2) геофизические методы необходимо применять для уточнения особенностей геологического строения изучаемых площадей и установления наличия на них косвенных признаков (факторов) контроля пьезооптической минерализации, особенно разрывных тектонических нарушений и зон гидротермальных изменений. В пределах таких зон геофизические методы нередко обеспечивают и непосредственный поиск хрустале- и шпатоносных залежей, чему способствует отличие физических свойств ( $\sigma$ ,  $\kappa$ ,  $\rho$ ) гидротермально измененных пород от свойств вмещающих [23]. Установлено, например, что месторождения исландского шпата Тунгусской синеклизы, преимущественно приуроченные к узлам пересечения различно ориентированных тектонических нарушений в туфовых образованиях, нередко отмечаются пониженными значениями поля  $\Delta T$  в областях положительных аномалий, отвечающих зонам обогащения магнетитовой минерализацией в траппах. Шпатоносные же зоны гидротермально-метасоматической проработки в лавах, связанные с участками повышенной трещиноватости пород, как правило, не сопровождаются заметной рудной минерализацией, вследствие чего они фиксируются, как показано в 1973 г. Б.Г. Семеновым, незначительными понижениями интенсивности геомагнитного поля.

Собственно кварцевые жилы большей частью отмечаются минимумами

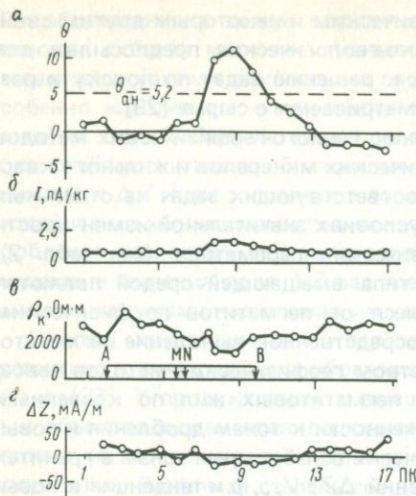


Рис. 34. Выделение на Горихинском гранитном массиве (МНР) пегматитоконтролирующей зоны дробления с помощью функции комплексного геофизического показателя  $\theta$  (а), рассчитанной по данным гамма-съемки (б), СЗП (в) и магниторазведки (г) (по Г.С. Вахромееву, 1975 г.).

1 — элювиально-делювиальные отложения; 2 — граниты; 3 — пегматитовая жила; 4 — зона дробления и катаклаза. На графике функции  $\theta$ , приведенной в безразмерных величинах, значения  $\theta$ , превышающие уровень  $\theta_{ан}$  (аномальный), считаются аномальными

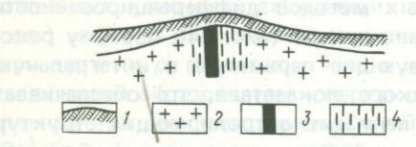
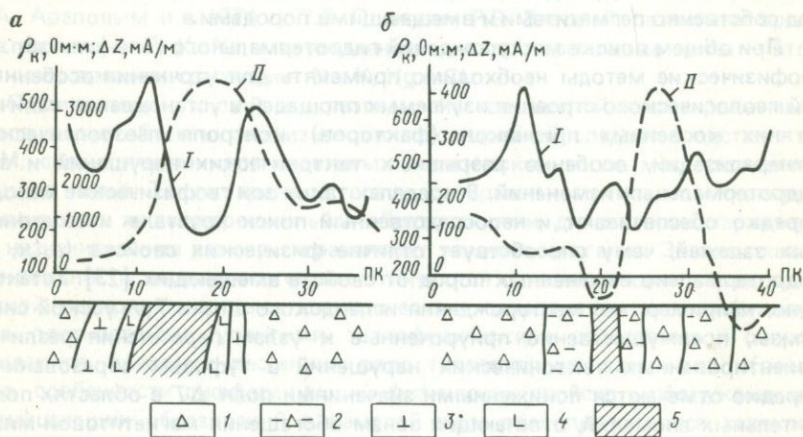


Рис. 35. Графики  $\Delta Z$  и  $\rho_k$  на месторождениях исландского шпата (по Б.А. Борисову, А.Я. Зюзину, 1974 г.).

а — зона дробления в дайке долеритов; б — зона дробления в дайке туфов; кривые: I —  $\rho_k$ , II —  $\Delta Z$ ; туфы: 1 — обломочные, 2 — интенсивно трещиноватые; долериты: 3 — тонкозернистые, 4 — гидротермально измененные; 5 — кальцитонные зоны



$\gamma$ -активности и максимумами  $\rho_k$ , но в ряде случаев околожильные измененные породы фиксируются и пониженными значениями  $\rho_k$ . Кальцитонные зоны по данным электропрофилирования выделяются и минимумами и максимумами  $\rho_k$  (рис. 35). Над хрустале- и шпатоносными полостями (гнездами) наблюдаются минимумы  $\rho_k$ ,  $\Delta g$  и  $\Delta Z$ . Методические

особенности использования геофизических методов при общем поиске месторождений пегматитового и гидротермального типов в различных регионах рассмотрены в работах [5, 19, 23], что позволяет на этих вопросах не останавливаться. В ряде случаев хрусталеносные жилы отмечаются вторичными ореолами рассеяния Na, K, Hg и Cl, а залежи исландского шпата — первичными и вторичными ореолами рассеяния Ca, в связи с чем геофизические методы необходимо комплексировать с литогеохимической съемкой. При совместном анализе геолого-геофизических данных необходимо шире использовать данные дешифрирования мелко- и средне-масштабных аэрофотосъемок.

При поиске россыпных месторождений пьезокварца для выделения участков развития кор выветривания и определения их мощностей нередко эффективно применение электроразведки (ВЭЗ), высокоточной гравиразведки, а также высокочастотной малоглубинной сейсморазведки [5].

При детальном поиске геофизические исследования необходимы для уточнения геофизических аномалий, выявленных в ходе общего поиска, оценки их геологической приуроченности и перспективности. При этом электроразведка (КЭП, МСГ и др.) и высокоточная магниторазведка позволяют разделять выявленные аномалии на поверхностные и глубинные. Различия же в величинах пьезомодулей камерных пегматитов и измененных гранитов, а также хрусталеносных кварцевых жил и вмещающих пород позволяют использовать ПЭМ для прямого поиска пегматитовых и жильно-кварцевых тел. На поисково-оценочной подстадии материалы геофизических исследований необходимо использовать для сравнительного анализа опосредуемых площадей и обоснованного выделения на них участков для разведочных работ.

При предварительной и детальной разведке отдельных разновидностей рассматриваемого сырья геофизические методы рекомендуются для решения нескольких задач (см. табл. 2). Выявление кварцевых, кварц-флюоритовых и пегматитовых залежей, тел, жил на месторождениях пегматитового и гидротермального типа, а также кварцевых залежей россыпного типа наиболее надежно обеспечивает ПЭМ в наземном, скважинном и шахтном вариантах. Для тех же целей в ряде случаев эффективно применение электроразведки в модификациях РВП и МЭК, а также минералогеохимического изучения первичных ореолов рассеяния. Продуктивные залежи россыпного типа обнаруживают с помощью ВЭЗ, высокоточной гравиразведки и высокочастотной малоглубинной сейсморазведки, комплексировав их с методами геоморфологического дешифрирования [5].

Для выделения продуктивных интервалов преимущественно кварц-флюоритового состава в разрезах скважин, особенно на интервалах бескернового бурения, разделения мономинеральных и трещиновато-кавернозных разновидностей кварца, а также для уточнения особенностей геологического строения разведываемых разрезов рекомендуется использовать ГИС в модификациях КС, ГК, ГГК, ГГК-ОР и КМВ [23]. При разведке объектов с пьезооптическим флюоритом используемый комплекс геофизических методов должен дополняться НАС и НАК.

Более ограничены возможности геофизических методов при развед-

ке шпатоносных залежей, где эти методы (см. табл. 2) используют для выявления и оконтуривания минерализованных зон, изучения характера их локализации на глубине и особенностей геологического строения [23]. Отдельные методы из комплекса, рекомендованного нами для разведки месторождений исландского шпата, при благоприятных условиях применимы и для разведки кварц-флюоритовых залежей.

## СЕРА САМОРОДНАЯ

Месторождения самородной серы служат одним из основных источников серосодержащего сырья, потребители которого — химическая промышленность (получение серной кислоты и различных сернистых соединений, производство минеральных удобрений, искусственного волокна, взрывчатых веществ и т.д.), предприятия по обогащению и гидрометаллургической переработке руд цветных металлов, целлюлозно-бумажная, резинотехническая, фармацевтическая промышленность, сельское хозяйство и ряд других отраслей. Основными генетическими типами рассматриваемых месторождений являются [26] экзогенный, приуроченный к толщам осадочных пород преимущественно лагунно-морского происхождения, и вулканогенный (эндогенный), связанный с вулканогенными и вулканогенно-осадочными образованиями. В связи с этим и другими различиями месторождений отмеченных типов раздельно рассматриваются и особенности их изучения геофизическими методами.

*Экзогенные месторождения.* Они достаточно распространены, многочисленны и разнообразны, содержат крупные запасы разведанной самородной серы и обеспечивают значительную часть современной ее добычи. На месторождениях эпигенетического подтипа размещение продуктивных образований, нередко приуроченных к верхним частям положительных структур, контролируется зонами тектонических нарушений. Осерненные отложения обычно представлены линзо- и штокообразными телами неправильной формы и изменчивой мощности (доли и первые десятки метров). Литологический состав руд (с содержанием серы около 12—25%) обычно непостоянен (карбонатный, сульфатно-карбонатный, терригенный).

В Предкарпатском бассейне, изучавшемся рядом исследователей (И.И. Алексеенко, А.И. Отрешко, Г.Т. Саксеевым, М.Ф. Суль и др.), сероносными породами являются вторичные известняки днестровского горизонта мощностью от долей метра до 25—30 м. Максимальное осернение пород наблюдается здесь вдоль зон выклинивания гипсо-ангидритов, а глубины залегания продуктивных отложений изменяются от нескольких до 300 м на платформе и увеличиваются до 1000 м и более во внешней зоне Предкарпатского краевого прогиба.

Перекрывающие продуктивные толщи карбонаты тирасской свиты обычно обводнены с обогащением вод сероводородом в районе серных залежей. Миграция последней в вышележащие ожелезненные терригенные отложения косовской свиты обуславливает восстановление в них окислов железа до сульфидов. В связи с тем, что ореолы сероводорода

Таблица 11. Физические свойства пород по условно выделяемым горизонтам в разрезе Предкарпатского сероносного бассейна (по Г.П. Поморцеву и др., 1977 г.)

Литолого-стратиграфическая характеристика	$\rho_K$ , Ом·м	$\eta_K$ , %	$\sigma$ , г/см <sup>3</sup>	$v_{пл}$ , км/с
Четвертичная система Пески, суглинки, галечники	20–1500	0,5–4,5	2,0	0,5–0,9
Неогеновая система, верхнетортонский подъярус, косовская свита	2–25	0,5–1,5 2,0–6,0*	2,2–2,38	1,8–3,0
Тирасская свита Гипсы, ангидриты, известняки седиментационные и метасоматические	100–5000	0,1–1,0	2,28–2,98	4,5–5,5
Меловая и юрская системы Известняки, аргиллиты, песчаники, мергели	50–100	—	2,38–2,74	3,0–4,0

\*Поляризуемость глин косовской свиты, обогащенных сульфидными минералами.

сопутствуют серным залежам, над последними отмечается и максимальная сульфидизация надрудных терригенных отложений в подошве косовской свиты.

По характеру дифференциации значений  $\rho_K$ ,  $\eta_K$ ,  $\sigma$  и  $v_{пл}$  разрез Предкарпатского сероносного бассейна условно расчленяется на четыре горизонта (табл. 11), верхний из которых характеризуется наиболее низкими величинами  $\sigma$  и  $v_{пл}$  слагающих пород. Поляризуемость песчано-глинистых косовских отложений, как правило, незначительная (0,5–1,5%). Над серными залежами эти отложения обычно повышенно сульфидизированы, вследствие чего они обладают и более высокими величинами  $\eta$  — до 6%. В продуктивном сульфатно-карбонатном горизонте  $\sigma$  седиментационных и метасоматических известняков примерно 2,28–2,86 г/см<sup>3</sup>, осерненных известняков 2,28–2,7 г/см<sup>3</sup>, а гипсо-ангидритов 2,3–2,98 г/см<sup>3</sup>. В последних величины  $v_{пл}$  значительны (4,5–5,5 км/с), вследствие чего кровля гипсо-ангидритов является маркирующим сейсмическим горизонтом. Серные руды и вмещающие породы рассматриваемого региона обычно диамагнитны и нерадиоактивны, а разрезы серных месторождений характеризуются повышенными значениями гетермического градиента (3,4–5,0 при фоне порядка 2,0 °C/100 м) [23].

При поиске и разведке экзогенных месторождений самородной серы

объектами геофизических исследований являются пласто-, линзо- и штокообразные тела неправильной формы и изменчивой мощности, которые следует аппроксимировать ФГМ в виде ограниченных по простиранию пластов различного характера залегания. Продуктивные отложения обычно диамагнитны, нерадиоактивны и дифференцированы относительно вмещающих пород по значениям электрического сопротивления, поляризуемости, плотности и упругим свойствам, а сероносные размеры характеризуются аномальными величинами теплопроводности, геотермического градиента и окислительно-восстановительных потенциалов. При соответствующих поисково-разведочных работах оправдано комплексирование электроразведки в модификациях ВЭЗ и ВЭЗ-ВП, ГИС (КС, ПС, ГК, ГГКП, ННК, СНГК) с определенными объемами сейсморазведочных работ, градиенто-, потенциометрической и геотермической съемок (см. табл. 2).

Особенности геологического строения и изменения физических свойств пород экзогенных серных месторождений позволяют использовать для их изучения различные геофизические методы [32]. Соответствующие методические рекомендации рассматриваются применительно к отдельным стадиям геологоразведочных работ (см. табл. 2).

На этапе поисковых работ геофизические методы, в первую очередь электроразведку (ВЭЗ, ВЭЗ-ВП), целесообразно применять для изучения глубин и характера залегания поверхности предположительно продуктивных отложений, выделения тектонических нарушений, выявления площадей развития сульфатных отложений, зон выклинивания гипсо-ангидритов и участков сульфидной минерализации в породах косовской свиты.

При общем поиске в центральной и юго-восточной частях Предкарпатского бассейна для изучения структурно-тектонических, литологических и других особенностей разреза используется ВЭЗ. Площадная съемка этим методом выполняется по сети  $(1-2) \times (0,25-0,5)$  км с разносами АВ до 4-10 км и уточнением их максимальных разносов в зависимости от глубин залегания высокоомного гипсо-ангидритового горизонта. Выявление площадей развития сульфатных отложений с помощью электроразведки зачастую носит неоднозначный характер, особенно в условиях сложного геоэлектрического разреза. Поэтому для более надежной и достоверной интерпретации материалов ВЭЗ необходим тщательный анализ характера искажений асимптотических ветвей кривых ВЭЗ резко выраженными формами опорного электрического горизонта. Такой анализ выполняется с учетом данных моделирования и результатов полевых работ над различными структурами. Наряду с симметричными целесообразно использовать и асимметричные установки типа АМОВ и АОНВ (рис. 36). По результатам электроразведочных работ строятся структурные карты (схемы) по кровле продуктивных пород и устанавливаются контуры развития гипсо-ангидритовых отложений. Поднятия продуктивного горизонта, ограниченные глубинными разломами, при наличии зон выклинивания гипсо-ангидритов выделяются как площади развития предположительно сероносных отложений. Разбраковка выявленных структур и определение их потенциальной сероносности выполняются

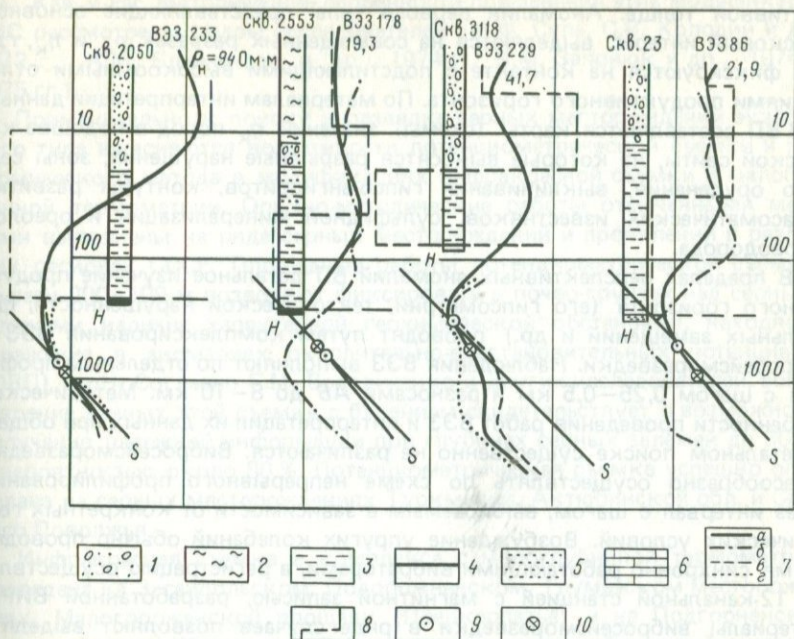


Рис. 36. Результаты ВЭЗ в Предкарпатском сероносном бассейне (по Г.П. Поморцеву и др., 1977 г.).

1 — галечники; 2 — суглинки; 3 — глины с прослойками песчаников; 4 — сульфатно-карбонатные отложения; 5 — песчаники; 6 — известняки; 7 — кривые ВЭЗ, полученные установками: а — АМNB, б — АМОНВ, в — АМОВ, з — АОНВ; 8 — диаграмма  $\rho_K$  по данным ВЭЗ; 9 — точки пересечения линий  $S$  суммарной продольной проводимости и кривых ВЭЗ; 10 — точки ВЭЗ, в которых  $\text{tg } \alpha = 0,5$ ;  $\rho_H$  — значения  $\rho_K$  в крайней левой точке начальной ветви кривой ВЭЗ;  $H$  — глубина залегания опорного электрического горизонта, отождествляемого с кровлей сульфатно-карбонатных отложений (при их отсутствии в разрезе — с песчаниками)

обычно при детальном опoisковании. В процессе его проведения рекомендуется применять метод вызванной поляризации в модификации ВЭЗ-ВП, комплексируя последний с ВЭЗ и сейсморазведкой, которую целесообразно выполнять с невзрывными источниками возбуждения упругих колебаний и накоплением полезных сигналов (вибросейсморазведка и др.).

Для оконтуривания участков развития пород с сульфидной минерализацией применяется ВЭЗ-ВП. Работы проводятся по сети  $(0,5-10) \times X (0,25-0,5)$  км с разносами питающих линий до 10–20 км. Такими работами в Предкарпатском бассейне фиксируются аномалии  $\eta_K$  двух типов: первый из них связан с сульфидной минерализацией в подошве пород, перекрывающих сероносные горизонты; второй — с галечниками четвертичного возраста или с прослоями песков и песчаников в надпро-

дуктивной толще. Аномалии первого типа, представляющие основной поисковый интерес, выделяются на совмещенных разрезах  $\rho_k$  и  $\eta_k$ , где они фиксируются на контакте с подстилающими высокоомными отложениями продуктивного горизонта. По материалам интерпретации данных ВЭЗ-ВП составляются карты (схемы) значений  $\eta_k$  пород в подошве ковской свиты, на которые выносятся разрывные нарушения, зоны серного оруденения, выклинивания гипсо-ангидритов, контуры развития метасоматических известняков, сульфидной минерализации и ореолов сероводорода.

В пределах перспективных аномалий ВП детальное изучение продуктивного горизонта (его гипсометрии, тектонической нарушенности, фациальных замещений и др.) проводят путем комплексирования ВЭЗ и вибросейсморазведки. Наблюдения ВЭЗ выполняют по отдельным профилям с шагом 0,25—0,5 км и разносами АВ до 8—10 км. Методические особенности проведения работ ВЭЗ и интерпретации их данных при общем и детальном поиске существенно не различаются. Вибросейсморазведку целесообразно осуществлять по схеме непрерывного профилирования через интервал с шагом, выбираемым в зависимости от конкретных геологических условий. Возбуждение упругих колебаний обычно проводят двумя синхронно работающими вибраторами, а регистрацию осуществляют 12-канальной станцией с магнитной записью, разработанной ВИРГ. Материалы вибросейсморазведки в ряде случаев позволяют выделять пикативные и дизъюнктивные нарушения разреза, в том числе и незначительной амплитуды, обычно неотмечаемые по данным ВЭЗ.

По результатам комплексной интерпретации геолого-геофизических материалов, полученных при детальном поисковых работах, выделяют перспективные участки для последующего их разбуривания. На площади Загайпольского, Шевченковского и Тлумачского месторождений методом ВЭЗ-ВП оконтурен ряд участков с повышенными значениями  $\eta_k$  (1,0—5,2% при нормальном фоне примерно 0,5—1,5%). По данным ВЭЗ установлена приуроченность аномалий  $\eta_k$  к краевой части выклинивающихся гипсо-ангидритов в области глубинных разломов. Вибросейсморазведкой в пределах аномалий ВЭЗ-ВП выявлен ряд малоамплитудных нарушений, свидетельствующих о приуроченности этих аномалий к тектонически ослабленным зонам. При разбуривании аномалий, выделенных в пределах названных месторождений, большей частью скважин встречена самородная сера, что свидетельствует о результативности проводимых здесь геофизических исследований.

В процессе предварительной и детальной разведки, в том числе при подготовке площадей месторождений к разработке методом подземной выплавки серы (ПВС), следует шире применять различные виды ГИС с целью выделения в разрезе сероносных горизонтов, определения элементов их залегания, уточнения физических свойств пород (особенно пористости, проницаемости, влажности и фильтрационных свойств, учитываемых при выборе участков под ПВС), а также для оценки серосодержания продуктивных горизонтов. Для решения этих задач кроме стандартного каротажа (КС, ПС, ГК) необходимо привлекать ГГКП, ННК, СНГК,

Рез., Кав. и Рас. Методические особенности применения этих модификаций ГИС рассмотрены рядом исследователей (М.Ф. Суль, С.В. Колодий и др., 1972 г., А.М. Блюменцев и др., 1974 г., В.М. Заярнюк и др., 1974 — 1975 гг.).

Применительно к поиску и разведке серных месторождений экзогенного типа выясняются возможности потенциометрической съемки и геотермического метода в модификациях инфракрасной съемки и малоуглубинной термометрии. Опытно-методические работы отмеченными методами выполнены на ряде серных месторождений и проявлений в различных регионах СССР. Площадные работы потенциометрической съемкой по сети 200×100 м позволяют фиксировать в почво-грунтах над серными залежами наличие характерной геохимической обстановки, находящей отражение в аномалиях окислительно-восстановительных потенциалов (ОВП) и pH. Согласно Г.М. Водовиченко и других исследователей, сопоставление данных этой съемки с бурением свидетельствует о возможности получения надежной информации при глубинах серных залежей до 300 м с вероятностью около 80 %. Потенциометрическая съемка успешно опробована на серных месторождениях Туркмении, Актюбинской обл. и Среднего Поволжья.

Инфракрасная съемка в комплексе с малоуглубинной термометрией проведена на Загайпольском, Подорожненском, Тлумачском месторождениях, Малогорожанской площади (Предкарпатье) и на Подгорненском месторождении (Казахстан). Работы по изучению особенностей геотепловых полей в районе серных залежей проводились по отдельным профилям с шагом наблюдений от 10 до 100 м. Отмечено, что в результате различных физико-химических реакций, в том числе и экзотермического характера, протекающих на контакте продуктивных и вмещающих пород, над серными залежами обычно наблюдаются положительные относительно геотермического фона температурные аномалии различной амплитуды.

Материалы, полученные при опробовании потенциометрической съемки и геотермии, свидетельствуют о необходимости продолжения соответствующих тематических и опытнo-методических работ с целью детального изучения геологических возможностей этих методов применительно к поиску и разведке серных месторождений.

*Вулканогенные месторождения.* Продуктивные толщи метасоматического, поверхностного (сублимационного и натечного), кратерно-озерного подтипов локализуются в массивах измененных пород формации вторичных кварцитов, являющихся продуктом газогидротермальной проработки эффузивно-пирокластических образований андезитового состава. Наиболее крупные месторождения приурочены к внутренним вулканическим дугам Тихоокеанского рудного пояса (Курилы, Камчатка, Корьякское нагорье, Япония).

Массивы серовмещающих кварцитов, обрамленные пропилитами и неизменными вулканитами, характеризуются фациальной зональностью: центральные (существенно кварцевые) фации представлены монокварцевыми (моноопалитовыми), алунитовыми (серцитовыми), сульфидно-кварцевыми породами, а краевые (аргиллизированные) — каолинито-

монтмориллонитовыми и монтмориллонитовыми образованиями. Содержание серы в промышленных рудах центральных фаций месторождений СССР достигает 10–35 %, а в Японии и 45 %. Породы центральных фаций содержат и сульфидную минерализацию в виде прожилков, вкраплений и пропитки пирита, мельниковита, марказита (до 5–18 %, иногда и более). В продуктивных толщах зависимость между содержанием серы и сульфидов обратная, с преимущественной концентрацией последних обычно в кровле этих толщ.

Размеры массивов с серными залежами нередко превышают 0,5 × 1 км при мощности кварцитов до 0,3 км. Большинство залежей, как правило, имеют неправильную форму и представлены линзо- и пластообразными телами субгоризонтального залегания размерами (0,25–0,5) × (0,5–1) км, мощностью 10–150 м и более. Осерненные тела перекрыты наносами мощностью от единиц до первых десятков метров, а в ряде случаев и аргиллизированными породами мощностью 20–70 м и более. Значительная часть большинства месторождений вулканических хребтов и отдельных вулканических построек перекрыта потоками молодых эффузивов (от единиц до первых сотен метров). На месторождениях с несколькими залежами потоки молодых эффузивов разделены, как правило, также аргиллизированными породами, а на месторождении Новое (остров Итуруп) — пропилитами и свежими лавами, фациальные переходы от которых к продуктивным телам обычно достаточно резкие. В верхних частях залежей установлены зоны окисления мощностью от единиц до 70–80 м.

Вторичные кварциты от вмещающих вулканитов, а также рудные и безрудные разности кварцитов между собой в большинстве случаев различаются по ряду физических параметров [38]. Так, в разрезах месторождений  $\sigma$  пород изменяется от 1,35 до 2,77 г/см<sup>3</sup>, уменьшаясь от андезитобазальтов к андезитодацитам, туфам и вулканогенно-осадочным породам (табл. 12). Более значительно отличаются по  $\sigma$  продуктивные и вмещающие породы в Южно-Курильском сероносном районе (ЮКСР), несколько менее — в Северо-Камчатском сероносном районе (СКСР). В направлении от первого района ко второму значения  $\sigma$  у всех групп пород возрастают, в связи с приуроченностью их к более древним образованиям. При этом у измененных пород  $\sigma$  увеличивается более значительно, чем у вмещающих, что приводит к уменьшению  $\Delta\sigma$  между ними.

По результатам сейсморазведочных работ на месторождениях Камчатки установлено, что в образованиях центральных фаций величины  $v_{пл}$  изменяются от 1,8 до 4,75 км/с, а в породах краевых фаций она заметно меньше (0,66–2,25 км/с). Аналогичная дифференциация продуктивных и вмещающих пород по упругим свойствам характерна также для месторождений вулканогенной серы Курил (исследования СахКНИИ ДНЦ СО АН СССР) и Японии.

Магнитная восприимчивость продуктивных пород центральных фаций незначительна ((38–160) · 10<sup>-5</sup> ед. СИ), что обусловлено "потерей" ими магнитных минералов в процессе гидротермального метаморфизма (см. табл. 12). Несколько более магнитны аргиллизированные породы краевых фаций ( $k$  до 270 · 10<sup>-5</sup> ед. СИ), заметно отличающиеся по  $k$  от вмещающих пород ((1150–4350) · 10<sup>-5</sup> ед. СИ).

Таблица 12. Физические свойства измененных пород и вулканитов СКСР и ЮКСР [10, 38]

Степень гидротермального изменения пород		Породы	$\sigma$ , г/см <sup>3</sup>	$K \cdot 10^{-5}$ ед. СИ	$v_{пл}$ , км/с	$\rho$ , Ом·м	
Измененные породы — вторичные кварциты	Существенно кварцевые (центральные фации)	Монокварциты (S до 10 %)	<u>2,51</u> —	<u>38</u> 160	<u>2,5—4,12</u> 2,4—2,5	<u>150—1000</u> —	
		Алунитовые серные кварциты (S = 10—25 %)	<u>2,50</u> 2,02	<u>38</u> 160	<u>2,4—3,9</u> 2,4—3,36	<u>500—14000</u> —	
		Серные кварциты (S = 20—50 %)	<u>2,45</u> 1,9—2,11	<u>38</u> 160	<u>3,76—4,75</u> —	<u>1500—44000</u> —	
		Каолинито-кварцевые породы (S до 10 %)	<u>2,28</u> —	<u>38</u> 160	<u>—</u> —	<u>200—1000</u> —	
		Бессерные каолинито-кварцевые породы	<u>2,05</u> 2,02	<u>38</u> 160	<u>1,36—1,90</u> —	<u>25—200</u> —	
			Аргиллизированные (краевые фации)	Бессерные каолинито-монтмориллонитовые и монтмориллонитовые породы	<u>2,13</u> 1,35—1,88	<u>270</u> 160	<u>0,66—2,25</u> 1,44—2,4
	Слабоизмененные — пропилиты	Туфы среднего состава		<u>2,4</u> 2,0	<u>2011</u> —	—	<u>15—200</u> —
			Андезиты	<u>2,4</u> 2,0	<u>1500</u> 1150	—	<u>30—500</u> —
		Неизмененные вулканиты		Базальты	<u>2,77</u> —	<u>4350</u> —	<u>1,2—1,9</u> —
			Андезитобазальты		<u>2,68</u> 2,5	<u>3720</u> 3400	<u>1,2—1,9</u> —
Андезиты	<u>2,59</u> 2,4—2,5			<u>2970</u> 3040	<u>1,2—1,9</u> —	— —	

Примечание. Числитель — физические параметры для пород СКСР, знаменатель — для пород ЮКСР.

Для существенно кварцевых образований и серных руд месторождений Камчатки и Курил характерны высокий коэффициент пористости (в зонах окисления до 20–34 %) и интенсивная трещиноватость безрудных массивов кварцитов. Общая пористость рудных и безрудных образований с глубиной уменьшается, обуславливая изменение водонасыщенности пород разреза. Эти факторы, а также различия в сульфидизации, ожелезнении пород и некоторые другие причины обуславливают достаточно широкие пределы колебаний у них  $\rho_k$  (см. табл. 12). Вместе с тем по материалам ЭК на трех месторождениях Камчатки установлена корреляционная связь между увеличением  $\rho_k$  пород и возрастанием в них серосодержания. Известно также, что  $\eta_k$  пород центральных фаций на Камчатских месторождениях в 2,5–10 раз выше, чем у вулканитов и аргиллизированных пород.

У существенно кварцевых пород Малетойваямского месторождения (СКСР) значения  $I_\gamma$  в 2–3 раза выше, чем у вмещающих образований. Серные кварциты здесь обладают  $\gamma$ -активностью (преимущественно ториевой природы) в 5–10 раз более высокой, чем фоновая, а повышенная  $\gamma$ -активность алунитовых кварцитов обусловлена присутствием в них изотопа  $^{40}\text{K}$ . На месторождениях ЮКСР такая дифференциация продуктивных и вмещающих пород наблюдается не всегда. Теплофизические свойства пород рассматриваемых месторождений изучены недостаточно, однако выяснено, что  $\lambda$  осерненных пород имеет пониженные по сравнению с вмещающими значения, и выявлен экзотермический характер процессов окисления серных руд.

При поиске и разведке вулканогенных месторождений самородной серы объектами геофизических исследований являются характеризующиеся фациальной зональностью массивы серовмещающих кварцитов. Продуктивные тела следует аппроксимировать ФГМ в виде ограниченных и не ограниченных по простиранию пластов, дифференцированных относительно вмещающих образований по плотности, упругим и теплофизическим свойствам, магнитной восприимчивости, электрическому сопротивлению, поляризуемости и естественной  $\gamma$ -активности. В связи с этим при соответствующих поисково-разведочных работах оправдано комплексирование различных геофизических методов — преимущественно магнито- и электроразведки (ЕП, ВЭЗ, ЭП, ВЭЗ-ВП, СЭП-ВП), ГИС (КС, ПС, ГК, СНГК, СГК, СНАК) с определенными объемами сейсмо- и гравиразведочных работ, геотермических и потенциометрической съемок (см. табл. 2).

Отмеченные особенности геологического строения (закономерное зональное строение массивов и месторождений, сульфидно-серный тип промышленных руд и др.), а также дифференциация продуктивных и вмещающих пород по физическим свойствам являются благоприятными физико-геологическими предпосылками для использования комплекса геофизических методов [10, 38] при решении различных задач, связанных с поиском и разведкой серных залежей данного генетического типа (см. табл. 2).

При общем поиске для решения ряда геологических задач (см. табл. 2) рекомендуется применять в основном магнито- и электроразведку (ЕП,

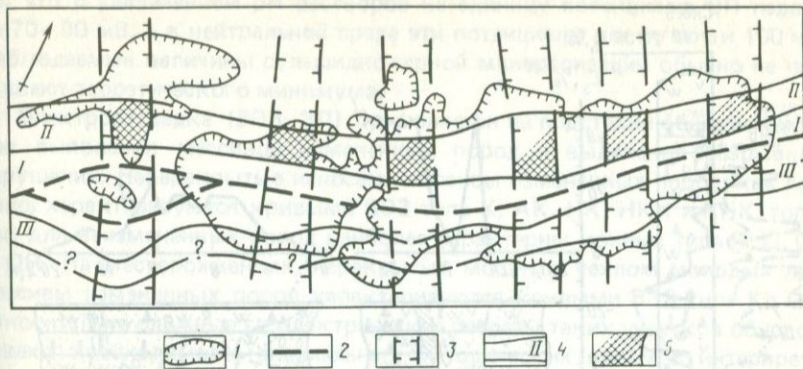


Рис. 37. Схема размещения рудоносных площадей Северо-Камчатского сероносного района (по Г.П. Яроцкому, 1977 г. и др.).

1 — площади распространения рудоносных эффузивно-пирокластических пород андезитового состава (по геологическим данным); геофизические данные: 2 — осевая линия зоны глубинного разлома — главной магмаконтролирующей структуры района, 3 — зоны поперечных разрывов (рудоконтролирующих структур района), 4 — сероносные полосы: I — центральная, приуроченная к зоне глубинного разлома, II — северо-западная, приуроченная к участку сочленения зоны глубинного разлома и надразломного грабена, III — юго-восточная, приуроченная к участку сочленения зоны глубинного разлома и приразломного грабена; 5 — участки пересечения поперечных разрывов секущими на выявленных и прогнозируемых рудных полях

ВЗЗ, ЭП). По результатам магниторазведки в СКРП установлена связь отрицательных полей  $Z_a$  с зонами развития массивов измененных пород, залегающими среди более магнитоактивных пропилитов и вулканитов, которым соответствуют участки положительных значений геомагнитного поля. На Малетойвьямском месторождении (рис. 37) установлено наличие четких корреляционных связей интенсивности поля  $Z_a$  с глубинами залегания подошвы верхней и нижней продуктивных толщ, а также с аналогичными параметрами залегания собственно измененных пород и их содержанием кварцевых разностей. При переходе от залежей с низким содержанием серы к залежам с высоким дисперсия этих связей обычно уменьшается, а коэффициент корреляции увеличивается.

Геологическими данными подтверждена ранее показанная геофизикой [38] связь характерных и нередко четко коррелируемых по площади линейных минимумов  $Z_a$  с зонами дорудных нарушений, служившими каналами движения гидротерм и, как правило, характеризующихся широким развитием монокварцитов. Подобные связи особенностей геомагнитного поля с различными неоднородностями геологических разрезов установлены и на других сернорудных объектах Камчатки, Курильских островов, а также Японии. На Курильских островах отрицательными значениями геомагнитного поля нередко отмечаются не только слабомагнитные продуктивные образования, но и более магнитоактивные неизменные породы, что связано с резкой расчлененностью здесь рельефа земной по-

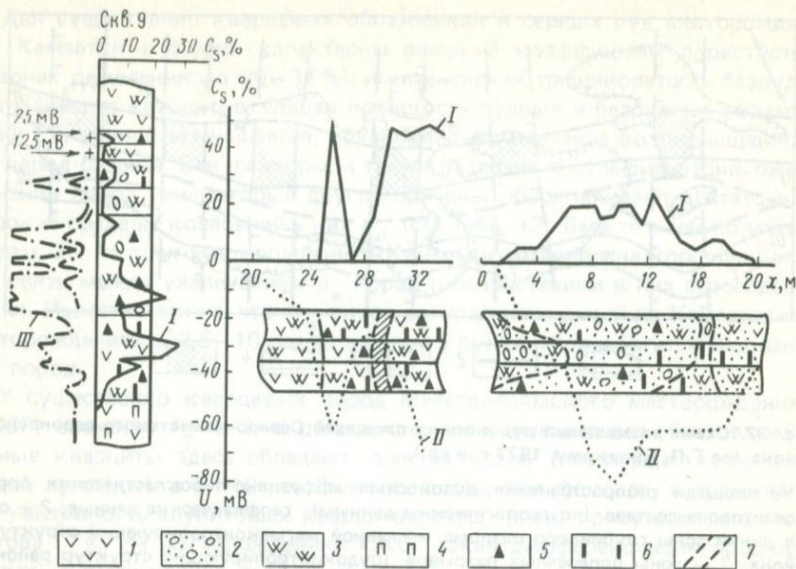


Рис. 38. Результаты электроразведки (ЕП) и ГИС (ПС) на месторождении Новое о. Итуруп (по А.Э. Голлербаху, 1977 г.)

1 — андезиты; 2 — туфы; 3 — опалиты; 4 — пропилиты; 5 — серная минерализация; 6 — сульфидизация; 7 — зона трещиноватости; графики: I — содержания самородной серы  $C_s$ , II —  $U_{EP}$ , III — ПС

верхности, на которую выходят вулканогенные образования. Для интерпретации материалов магниторазведки и разбраковки аномалий на обусловленные продуктивными образованиями и изменениями рельефа использована разработанная Б.Г. Сапожниковым и Н.А. Скроманом (НПО Рудгеофизика) программа "Рельеф-2".

На месторождениях вулканогенной серы в толщах продуктивных пород протекают различные физико-химические процессы (окислительно-восстановительные и др.), обуславливающие возникновение полей ЕП различной интенсивности и знака. Это и некоторые другие обстоятельства благоприятствуют применению метода ЕП для выделения массивов измененных пород. Последние, а также и собственно продуктивные образования отмечаются минимумами ЕП (рис. 38), тогда как на участках развития вмещающих эффузивно пирокластических пород поля ЕП, как правило, безаномальны или положительны. Не затрагивая вопросы формирования и геологической приуроченности аномалий ЕП, рассмотренные рядом исследователей [10, 38], отметим, что роль серы в формировании минимумов ЕП заключается в образовании диссоциированной серной кислоты и в раскислении вод в зоне гипергенеза. Немаловажную роль играет и рН растворов, омывающих сульфидно-серные руды. Японскими исследователями теоретически, а на ряде месторождений и эмпирически установле-

но, что с увеличением рН растворов на единицу потенциалы ЕП падают на 70—90 мВ, а в нейтральной среде эти потенциалы достигают и 100 мВ. Наблюдаемые величины сульфидно-серной минерализации обычно не превышают теоретического минимума.

Электроразведка (ВЭЗ, ЭП) применяется на подстадии общего поиска для выявления массивов измененных пород и выделения разрывных нарушений. Неперекрываемые наносами массивы измененных пород, как правило, характеризуются кривыми ВЭЗ типа К, АК, НК, НКН и КНК, тогда как для неизмененных пород наиболее характерны кривые типа Н, Q, QQ и QH. На месторождениях, перекрытых мощным чехлом молодых лав, массивы измененных пород характеризуются кривыми ВЭЗ типа Кп QH. Относительно сложные геоэлектрические разрезы таких участков обуславливают необходимость специальных методических приемов интерпретации, многие из которых разработаны и успешно опробованы [10 и др.].

При детальном поиске и поисково-оценочных работах для решения ряда геологических задач рекомендуется применять комплекс геофизических методов (см. табл. 2), в который, как и при общем поиске, входят магнито- и электроразведка (ЕП, ВЭЗ, ЭП), но с более густой сетью наблюдений. Кроме того, для детального поиска целесообразно привлекать электроразведку ВП в модификациях ВЭЗ-ВП и МСГ-ВП. По результатам соответствующих исследований на площади Малетойважского узла (СКСР) установлена низкая поляризуемость вмещающих пород (не > 1,5%), в то время как продуктивные залежи отображаются аномалиями  $\eta_k$  в 2,5—10 раз более интенсивными. Параметрическими ВЭЗ-ВП установлена связь значений  $\eta_k$  с содержанием сульфидов, распределение которых в разрезе отражается характерными типами соответствующих кривых. Повышенными величинами  $\eta_k$  отмечаются и сульфидизированные разности аргиллизированных пород, но над ними обычно фиксируются кривые ВЭЗ-ВП другого типа [38].

В комплексе с магнито- и электроразведкой для детального поиска и поисково-оценочных работ рекомендуется применять сейсморазведку, потенциометрическую съемку и гравиразведку. По результатам сейсморазведки КМПВ и МДВ по замкнутому полигону профилей на площади Малетойважского узла при длине годографа до 2,5 км установлен градиентный характер скоростного разреза измененных пород; выделены сбросы, определены амплитуды и направления падения плоскости смесителя и подтверждено блоковое строение площади, зафиксированы преломляющие, иногда отражающие, границы между аргиллизированными и существенно кварцевыми породами, кварцитами и вулканитами.

В разрезе (на глубинах 100—600 м) выявлена граница, связываемая с подошвой измененных пород, ниже которых в вулканитах по центрам дифракции выделяются многочисленные зоны нарушений, залеченные гидротермальными процессами в измененных породах. Установлена корреляционная связь между глубинами залегания этой границы и интенсивностью минимумов  $Z_a$  при более высоком значении вертикального градиента  $Z_a$  над существенно кварцевым разрезом ( $-0,98 \text{ мА/м}^2$ ), чем над аргиллизированным ( $-0,74 \text{ мА/м}^2$ ). На отмеченной границе выделен

V-образный "провал", пространственно совпадающий с полосой пониженных значений  $Z_a$ , в которой расположены два сернорудных месторождения узла. Одно из них (Малетойваямское) приурочено к "висячему боку провала", связываемому с измененными породами зоны разлома, подводящего рудообразующие растворы. Подобные нарушения выявлены и в Японии на месторождении кварцитов Угусу. В Японии на месторождении Мацуо сейсморазведкой и бурением подтверждены две крупные залежи на глубинах около 100 м, над которыми ранее установлены минимумы ЕП.

При выделении сульфидно-серных залежей данные ЕП в ряде случаев целесообразно уточнять потенциометрической съемкой. Материалы последней и работ ЕП на Малетойваямском месторождении показали наличие прямой зависимости между значениями ЕП и величинами потенциалов  $E_h$ .

Высокоточной гравиразведкой на площади Малетойваямского узла установлены максимумы  $\Delta g$ , приуроченные к относительно высокоплотным осерненным кварцитам, залегающим в менее плотных аргиллизированных породах. Понижениями поля  $\Delta g$  нередко отражаются зоны тектонических нарушений, в том числе и рудопроводящие. Аномалии  $\Delta g$  в целом хорошо согласуются с минимумами поля  $Z_a$  и границей между измененными породами и вулканитами, выделенной сейсморазведкой.

Для решения различных геологических задач при предварительной и детальной разведке (см. табл. 2) рекомендуется использовать электроразведку (ВЭЗ, ВЭЗ-ВП), а также ГИС (СГК, СНГК, СНАК, Кав. и др.). Такой комплекс методов успешно опробован на Малетойваямском месторождении СКР, где (данные Г.П. Яроцкого и др., 1967, 1968 гг.) по материалам ВЭЗ и ВЭЗ-ВП оценены условия залегания продуктивных залежей и мощность перекрывающих их аргиллизированных пород, а также определены места оптимального заложения разведочных скважин. Материалы ГИС привлекались здесь для определения содержания серы в разрезе скважин и оценки запасов продуктивных руд по категории  $C_2$ . По результатам ГИС возможно определение некоторых геотехнологических (горнотехнических) параметров, знание которых необходимо для выбора схем разработки месторождений методами ПВС и подземного горения серы (ПГС).

## Слюды

К группе слюд относится ряд алюмосиликатов слоистой структуры, связанных с высокоглиноземистыми разностями гнейсов. Наибольшее значение из минералов этой группы имеют мусковит и флогопит, обладающие высокими электроизоляционными свойствами, термо-, влаго- и химической стойкостью. Все шире используется и вермикулит, особенно для производства термо- и звукоизоляционных изделий.

Большинство месторождений мусковита и флогопита приурочено к древнейшим участкам земной коры — платформам, щитам и их окраинам, сложенным сильно дислоцированными и глубокометаморфизо-

ванными кристаллическими породами, прорванными кислыми и основными интрузиями. Размеры продуктивных тел изменяются в широких пределах, достигая десятков и сотен метров. Месторождения вермикулита генетически связаны с крупноразмерными площадными и линейными корами выветривания биотито- и флогопитоносных пород.

Физические свойства и петрофизические особенности пород слюдяных месторождений рассмотрены в работах [8, 11, 28, 36], в которых показано, что присутствие слюд в пегматитах и вмещающих породах обычно не вносит заметных изменений в их физические свойства. Неоднородности же петрографического состава, зернистости, физико-механических параметров, разрушенности, степени метаморфизма (особенно в околожильных зонах), влагонасыщенности и другие факторы обуславливают весьма изменчивую и в целом нередко существенную дифференцированность физических свойств слюдоносных пегматитов, флогопитоносных образований и вмещающих пород. Заметные изменения физических параметров отмечаются обычно и на участках тектонической нарушенности.

Пегматитоносные метаморфизованные образования Карело-Кольского региона характеризуются незначительным пьезомодулем  $d \leq 0,66 \times 10^{-17}$  Кл/Н. Мелкозернистые бесслюдные пегматиты обладают повышенными (до 10 раз) величинами  $d = (1,3-8,3) \cdot 10^{-17}$  Кл/Н. В Мамско-Чуйской провинции значения  $d$  пегматитов в 5–10 раз больше, чем  $d$  вмещающих сланцево-гнейсовых образований. Относительно этих образований кристаллический кварц обладает аномально высокими значениями  $d$  (в 70–100 раз больше), вследствие чего весьма значителен параметр  $d$  у продуктивных кварц-мусковитовых комплексов замещения.

Величина  $\rho$  слюд примерно  $10^5-10^{10}$ , пегматитов —  $(14-110) \times 10^3$  Ом·м. Значение  $\rho$  мусковита изменяется от  $3,7 \cdot 10^8$  до  $9,6 \cdot 10^{10}$  Ом·м при  $\rho_{\text{ср}}$  около  $4,6 \cdot 10^9$  Ом·м. Несколько меньше  $\rho_{\text{ср}}$  флогопита —  $9 \cdot 10^8$  Ом·м, еще ниже оно у вермикулита —  $6,7 \cdot 10^6$  Ом·м, что связано с увеличением степени гидратации слюд, изменениями их состава и особенно содержания Fe. Продуктивные флогопитоносные горизонты Якутии и ослуденелые оливиниты Ковдорского месторождения отмечаются величинами  $\rho_{\text{к}}$  соответственно около  $(1-2,5) \cdot 10^3$  и  $(2-4) \cdot 10^3$  Ом·м, однако в зависимости от обводненности и степени мерзлотности пород значения  $\rho_{\text{к}}$  нередко изменяются в более широких пределах. Сопротивление слюдоносных и неслюдных пегматитов варьирует также достаточно широко (до 100 и более раз). Так, крупнозернистые пегматиты Карелии имеют  $\rho$   $(76-110) \cdot 10^3$ , среднезернистые —  $(14-65) \cdot 10^3$ , мелкозернистые —  $(10-40) \cdot 10^3$  Ом·м, а  $\rho$  вмещающих пегматитовые жилы пород изменяется от первых тысяч до десятков тысяч ом-метров, причем наименьшим сопротивлением обладают гнейсы и сланцы, а наибольшим — гранито-гнейсы и инъецированные гнейсы.

Пегматиты Мамско-Чуйской провинции имеют  $\rho$  в 3–8 раз более высокое, чем вмещающие сланцево-гнейсовые комплексы, а переслаивание, сланцеватость и изменение величины  $\rho$  пород этой провинции обуславливают относительно высокие (до 3–4) значения  $\lambda_{\text{ан}}$ . Последняя определяется микроанизотропией отдельных горизонтов и пачек, а также макроанизотропией вследствие их переслаивания.

Пегматитовые жилы Карелии нередко отмечаются повышенными значениями  $\eta_k$ . Здесь  $\eta_{ср}$  гнейсов достигает 2 % и возрастает вблизи пегматитовых жил до 5–6 %. Размеры таких экзоконтактовых зон повышенной поляризуемости в 2,5–3 раза превышают мощность пегматитовых жил. У дистено-гранато-биотитовых и гранато-биотитовых гнейсов Карело-Кольского региона остаточная разность потенциалов  $\Delta U$ , обусловленная их поляризуемостью, вдвое больше, чем у пегматитов. Еще выше величины  $\Delta U$  у гнейсов вблизи пегматитовых жил. В Мамско-Чуйской провинции поляризуемость пород значительно более слабая.

Плотность слюд, пегматитов и вмещающих пород изменяется от 1,9 до 3,5 г/см<sup>3</sup>. Сходные пределы колебаний  $\sigma$  (1,92–3,54 г/см<sup>3</sup>) наблюдаются у мусковитоносных пегматитов Карело-Кольского региона, однако их  $\sigma$  в целом ниже, чем  $\sigma$  вмещающих образований. Собственно слюды характеризуются изменениями  $\sigma$  от 2 до 3 г/см<sup>3</sup>, причем наиболее высокими значениями  $\sigma$  обладает мусковит, пониженными — флогопит и еще меньшими — вермикулит. Относительно вмещающих ультраосновных и щелочных образований и карбонатитов  $\sigma$  флогопитоносных пород примерно на 0,2 г/см<sup>3</sup> ниже.

Плотностная дифференциация слюдо-, неслюдоносных пегматитов и вмещающих пород в большинстве случаев незначительная и обычно определяется степенью их метаморфизма. На месторождениях Карело-Кольского региона  $\sigma_{ср}$  слюдоносных толщ примерно 2,81 г/см<sup>3</sup>, что на 0,12 г/см<sup>3</sup> превышает  $\sigma_{ср}$  подстилающих мигматитов.

В Мамско-Чуйской провинции высокометаморфизованные породы (амфиболовые, дистено-гранато-биотитовые гнейсы) и сланцы с темновыми минералами (амфиболом, эпидотом) имеют  $\sigma_{ср}$  около 2,80–2,90 г/см<sup>3</sup> и более, значениями  $\sigma_{ср}$  2,61–2,65 г/см<sup>3</sup> характеризуются менее метаморфизованные и осветленные породы (биотитовые гнейсы, кварциты) с повышенным содержанием полевого шпата и кварца. Такая же или несколько меньшая  $\sigma_{ср}$  здесь (до 2,56 г/см<sup>3</sup>) и у пегматитов. Плотностная неоднородность пород слюдяных месторождений Карелии обуславливает особенности гравитационного поля — более 90 % слюдоносных жил приурочены к периферии локальных аномалий  $\Delta g$ .

Коэффициент пористости  $k_n$  гнейсов Карелии равен 0,4–0,5 %. Вблизи пегматитовых жил коэффициент пористости возрастает примерно втрое, наблюдается и разуплотнение пород. В Мамско-Чуйской провинции породы более слабо дифференцированы по  $k_n$ .

Собственно слюды в целом слабомагнитны. Наименьшие значения  $k$  у мусковита, несколько больше у флогопита и еще более высокие (до  $125-190 \cdot 10^{-5}$  ед. СИ) у вермикулита. Продуктивные на флогопит породы в большинстве случаев слабомагнитны, и их магнитные свойства существенно не изменяются при различных концентрациях флогопита. Незначительными в целом величинами  $k$  характеризуются также слюдо- и неслюдоносные пегматиты,  $k_{ср}$  которых соответственно не более  $25 \times 10^{-5}$  и  $2,5 \cdot 10^{-5}$  ед. СИ. Присутствие в них ферромагнитных минералов увеличивает значение  $k$  до  $(250-380) \cdot 10^5$ , реже до  $3140 \cdot 10^{-5}$  ед. СИ.

Вмещающие слюдоносные пегматиты метаморфизованные породы

обычно имеют незначительные величины  $k$ . Так, на слюдяных месторождениях Северной Карелии породы продуктивной толщи имеют  $k$  около  $25 \cdot 10^{-5}$  ед. СИ, а подстилающие аплиты — около  $19 \cdot 10^{-5}$  ед. СИ. В общем же пегматиты Карело-Кольского региона характеризуются по сравнению с вмещающими образованиями пониженными значениями  $k$  и  $I_r$  (последняя для пегматитов близка к нулевой).

Слабомагнитны и метаморфизованные породы Мамско-Чуйской провинции, где  $k$  пегматитов, известняков и кварцитов не более  $25 \times 10^{-5}$  ед. СИ. Сходные или более низкие величины  $k$  (до нулевой) нередко имеют здесь гнейсы и сланцы, однако в ряде случаев  $k$  вмещающих слюдоносные комплексы метаморфизованных пород заметно возрастают. В ряде случаев увеличивается  $k$  гнейсов вблизи пегматитовых жил Карелии. Такие возрастания  $k$  (иногда до  $1260 \cdot 10^{-5}$  ед. СИ) обусловлены присутствием в биотитовых и гранато-биотитовых гнейсах магнетита и пирротина. Повышенными  $k$  отмечаются и оскарнованные пегматиты некоторых флогопитовых месторождений. В ряде случаев  $k$  вмещающих метаморфизованных пород изменяется из-за их сульфидизации. Независимо же от содержания флогопита  $k$  слюдоносных комплексов обычно достаточно постоянна.

Упругие свойства слюд и вмещающих пород в целом представляются слабо дифференцированными. Мусковиты Карело-Кольского региона характеризуются изменениями параметра  $v$  от 2,8 до 8,2 км/с при  $v_{cp}$  примерно 5 км/с. Слюдоносные пегматиты обладают значительно более узкими пределами изменения  $v$  (от 5,0 до 6,7 км/с при  $v_{cp}$  около 6,2 км/с), однако в ряде случаев над ними по результатам сейсморазведочных работ МПВ наблюдается уменьшение (иногда вдвое) значений  $v$ . В зависимости от степени сохранности слюдо- и неслюдоносные пегматиты имеют различные величины  $v$ , которые в Карело-Кольском регионе изменяются от 2,35 до 6,10 км/с при  $v_{cp}$  около 4,17 км/с.

Собственно слюды и слюдоносные пегматиты (за исключением калиевых разновидностей и разновидностей, обогащенных радиоактивными элементами) характеризуются незначительной активностью. Все образования Мамской продуктивной толщи, кроме двуслюдяных гнейсов и сланцев, имеют значения  $I_\gamma$  не более 7,2–11 нА/кг. По сравнению с вмещающими сланцами, гнейсами и кислыми магматическими образованиями диопсидовые и диопсид-флогопитовые породы Якутии, в частности Алданского нагорья, имеют несколько повышенные величины  $I_\gamma$ .

Содержание калия в флогопитсодержащих породах обычно повышено (до 4–7 %). Так, на Ковдорском месторождении среднее содержание  $K$  во флогопите примерно 8 %, во флогопит-диопсид-оливиновых породах оно уменьшается до 3 %, а во вмещающих породах не превышает 1 %. Флогопит и биотит характеризуются также повышенными содержаниями аргона (соответственно 6 и 4,2 %), а мусковитоносные породы Карелии имеют высокую цветовую контрастность.

При поиске и разведке месторождений слюд объектами геофизических исследований являются жильные тела, залегающие в сильно дислоцированных и глубокометаморфизованных комплексах пород, прорван-

ных интрузиями различного состава. Такие объекты следует аппроксимировать ФГМ в виде относительно тонких пластов обычно ограниченного простираения, приуроченных к зонам тектонических нарушений. Дифференциация слюдоносных пегматитов, флогопитоносных образований и вмещающих пород отмечается по ряду физических свойств (пьезомодуль, электрическое сопротивление, поляризуемость, плотность, магнитная восприимчивость, упругие свойства, радиоактивность), но в большинстве случаев эта дифференциация предопределяется неоднородностями петрографического состава, физико-механических параметров, разрушенности, степени метаморфизма и рядом других факторов. В связи с этим и применительно к решению различных геологических задач оправдано комплексирование при соответствующих поисково-разведочных работах широкого набора геофизических методов, преимущественно магнито- и радиометрических съемок, гравиразведки, различных модификаций электро- и сейсморазведочных работ, метода ПЭМ, стандартных видов ГИС, а также СГК (см. табл. 2).

Особенности изменения физических свойств слюдоносных и вмещающих образований, а также структурно-тектонические и некоторые другие особенности, контролирующие развитие рассматриваемых пород, создают определенные физико-геологические предпосылки для соответствующих геофизических исследований, комплексность которых рассматривается нами применительно к решению основных геологических задач на различных стадиях геологоразведочных работ и к конкретным разновидностям слюд (см. табл. 2).

*Мусковит.* В практике поисковых работ на мусковит выделяют подстадии общего (масштаб 1:50 000—1:25 000) и детального поиска (масштаб 1:5 000—1:2 000, редко 1:10 000). В Мамско-Чуйском районе геофизические работы выполнялись с опозданием после детальных геологических съемок, что осложнило своевременную и правильную оценку перспектив слюдоносности и соответствующую направленность поисковых работ. При общем поиске рекомендуется выполнять работы комплексом геофизических методов (см. табл. 2), направленным на решение задач структурно-тектонического районирования территории и изучения ее глубинного строения. В Мамско-Чуйском районе по геофизическим данным определяются глубины залегания продуктивной толщи и фундамента, картируются тектонические нарушения, основные складчатые структуры и изучается глубинная структура слюдоносных узлов. По дифференцированности гравитационного и магнитных полей установлена блоковая структура фундамента, определена глубина его залегания (до 4—6 км в центральной части), закартированы тектонические нарушения, контролирующие слюдяные узлы.

Опытно-методические работы показывают, что сейсморазведкой можно изучать глубинную структуру слюдоносных узлов. Для глубин от 500 до 1000 м предлагаются методика комбинированного профильно-поперечного профилирования, метод пространственных зондирований и методика изучения динамических параметров. Для глубин до 500 м рекомендуется проведение сейсморазведки МОВ и МРВ.

В Мамско-Чуйской провинции при детальных поисковых работах геофизические методы обеспечивают структурно-тектоническое картирование рудных узлов, прогнозно-перспективную оценку слюдоносности закрытых площадей [27] и поиск перспективных на слюду участков. Для решения этих задач, а также картирования тектонических нарушений третьего, четвертого и более высоких порядков необходимо привлекать электроразведку ДЭП (с заменой этого метода на участках островной мерзлоты, в долинах и на площадях, закрытых мощным чехлом рыхлых отложений, работами МСГ, а на открытых участках — КрЭП). В комплексе с электроразведкой целесообразно применять высокочастотные магнитометрическую съемку, а в некоторых случаях и ПЭМ.

Геофизические работы отмеченными методами, как правило, выполняются в крупном масштабе. Нередко достаточно эффективен ПЭМ, однако высокий уровень электрических помех, сложности геологического строения, особенно крутопадающее залегание продуктивных и вмещающих образований, значительная пересеченность земного рельефа и наличие вечной мерзлоты не всегда позволяют проводить работы с высокочувствительной аппаратурой из-за соизмеримости уровней полезных сигналов и помех. Весьма актуальны в этом плане исследования, связанные с разработкой скважинного варианта ПЭМ.

Эффективному применению различных геофизических методов для структурно-тектонического картирования благоприятствуют особенности геологического строения и соответствующие им изменения физических параметров слагающих рудный узел пород: высокая электрическая анизотропия слюдоносной толщи; широкое развитие складок с крутыми углами падения; значительная обводненность тектонически ослабленных зон; пирит-пирротиновая минерализация зон тектонических нарушений, а также магнетитовая минерализация пород, выполняющих древние надвиги; различие  $\sigma$  пород в зонах тектонических нарушений и за их пределами, а также разница  $\sigma$  пород пегматитовых полей и вмещающих образований. Так, по минимумам  $\rho_K$  обычно выявлялись разрывные нарушения, а изменения параметра  $\lambda_{ан}$ , выявляемые КрЭП, в ряде случаев удачно использовались для картирования складчатых структур. Геофизические методы обычно не позволяют проводить прямые поиски слюдоносных жил, и они рекомендуются для геологического картирования и перспективной оценки картируемых площадей на слюдоносность в масштабе 1:10 000—1:5000 [27].

Геологические критерии слюдоносности находят определенные отражения в физических полях, вследствие чего при перспективной оценке слюдоносности площадей, особенно закрытых, и при поиске перспективных на слюду участков особого внимания заслуживают: аномалии геоэлектрического поля (плавные поперечные изгибы, флексурообразные изменения и участки замыкания изопотенциалов), аномалии поля сопротивлений (зоны различных значений  $\rho_K$  и повышенной электропроводности частое чередование экстремумов  $\rho_K$ ), аномалии магнитного поля (локальные малоамплитудные аномалии  $\Delta Z$  и протяженные зоны таких аномалий), аномалии гравитационного поля (ступени  $\Delta g$  и локальные

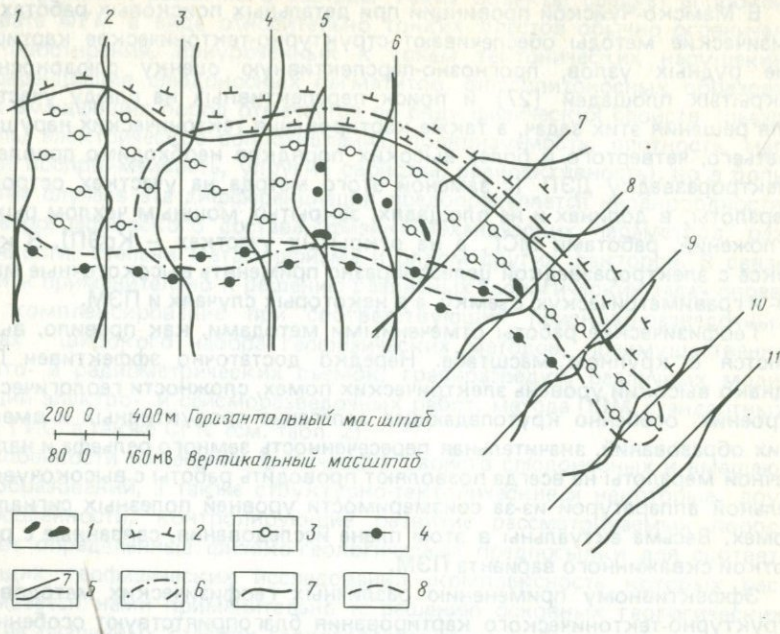


Рис. 39. План графиков потенциала НП поля на месторождении слюдяных пегматов Лейвойва (Кольский полуостров) (по М.И. Голоду, 1977 г.).

1 — пегматитовые жилы; 2 — светло-серые биотитовые гнейсы; 3 — дистено-гранато-биотитовые плагиогнейсы с силлиманитом и кордиеритом; 4 — гнейсы биотитовые, гранато-биотитовые, кианито-биотитовые, двуслюдяные; 5 — линии наблюдений и графики  $U$ ; 6 — контур аномалий ЕП; границы измененных и неизмененных пород (по геологическим данным): 7 — достоверные, 8 — предположительные

минимумы  $\Delta g$ ), аномалии пьезоэффекта [27, 28]. Прогнозная оценка качества мусковита в жилах возможна на основе корреляционной связи этого параметра с особенностями геоэлектрического поля, особенно с интенсивностью аномалий  $\rho_k$ , устанавливаемых по результатам детальных электроразведочных работ в масштабе 1:5000 и крупнее.

Детальные поисковые работы в Карело-Кольском регионе преимущественно проводят в масштабе 1:10 000 с целью картирования пегматитовых зон, для выделения которых успешно используют различные модификации электроразведки (ДЭП, МСГ на точке низкой частоты и др.). Пегматитовые зоны обычно приурочены к участкам пониженных значений  $\rho_k$  [11, 12]. Характер полей  $\rho_k$  в немалой степени определяется электрической неоднородностью коренных и покровных отложений (зоны трещиноватости, болота и т.д.), в связи с чем МСГ обычно комплексируют с методами ЕП и ВП, первый из которых преимущественно ставят по сети работ МСГ, а ВП — по отдельным профилям. Так, продуктивный горизонт месторождения Лейвойва, сложенный дистено-гранато-биотитовыми гнейсами, выделен по данным МСГ зоной пониженных значений  $\rho_k$  (5–10) ×

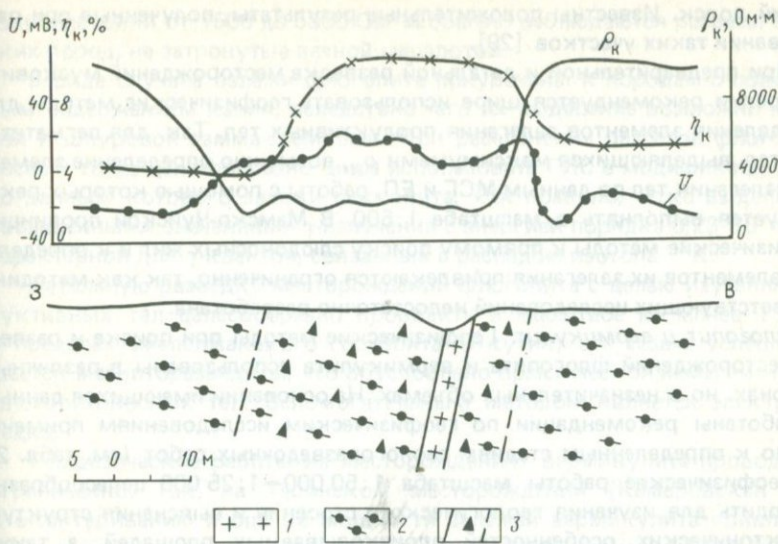


Рис. 40. Графики  $\rho_k$ ,  $U$  и  $\eta_k$  над зоной околожильных измененных пород (по М.И. Голоду, 1977 г.).

1 — пегматит; 2 — гранато-биотитовые гнейсы; 3 — зона измененных околожильных пород

$\times 10^3$  по сравнению с  $(10-20) \cdot 10^3$  Ом·м для вмещающих пород. Выполненные здесь же работы методом ЕП позволили оконтурить продуктивный горизонт гнейсов и выделить в его пределах площадь измененных процессами метасоматоза пород, вмещающих слюдяные пегматиты (рис. 39). Изменения в широких пределах интенсивности значений ЕП связаны с зональностью пегматитоносной полосы, в пределах которой отмечается переход от слюдяных пегматитов к бесслюдяным жилам.

Поисково-оценочные работы и разведку мусковитоносных образований целесообразно осуществлять в масштабе 1:2000—1:500 с целью выявления отдельных пегматитовых тел и слюдоносных жил. Для решения таких задач в пределах пегматитоносных зон Карело-Кольского региона обычно используют электроразведку МСГ, ЕП и ВП (рис. 40), а также ПЭМ. При этом густота сети наблюдений определяется размерами продуктивных тел и мощностью зон экзоконтактных изменений. В тех случаях, когда пегматитовые жилы отмечаются максимумами  $\rho_k$ , по кривым ЭП возможна, как показано в 1962—1964 гг. В.С. Волчком, оценка элементов залегания продуктивных тел. Для обнаружения пегматитов в межскважинном пространстве рекомендуется шире использовать ПЭМ и проводить работы методом ВП [13].

В ВостСибНИИГГиМС разработана методика локального прогноза слюдоносности по геофизическим данным. По результатам прогнозно-геофизических исследований выделяются участки под детальный геологи-

ческий поиск. Известны положительные результаты, полученные при разбуривании таких участков [29].

При предварительной и детальной разведке месторождений мусковита в Карелии рекомендуется шире использовать геофизические методы для определения элементов залегания продуктивных тел. Так, для пегматитовых тел, выделяющихся максимумами  $\rho_k$ , возможно определение элементов залегания тел по данным МСГ и ЕП, работы с помощью которых рекомендуется выполнять в масштабе 1:500. В Мамско-Чуйской провинции геофизические методы к прямому поиску слюдоносных жил и к определению элементов их залегания привлекаются ограниченно, так как методика соответствующих исследований недостаточно разработана.

*Флогопит и вермикулит.* Геофизические методы при поиске и разведке месторождений флогопита и вермикулита использованы в различных регионах, но в незначительных объемах. На основании имеющихся данных разработаны рекомендации по геофизическим исследованиям применительно к определенным стадиям геологоразведочных работ (см. табл. 2).

Геофизические работы масштаба 1:50 000—1:25 000 целесообразно проводить для изучения геологического строения и выяснения структурно-тектонических особенностей опосредовываемых площадей, а также с целью выделения участков вероятного развития флогопитоносных образований. Работы рекомендуется проводить методами магнито-, гравии и электроразведки. При этом необходимо шире привлекать данные аэромагнитных и аэрогамма-спектрометрических исследований. Так, зоны пониженных значений геомагнитного поля и пониженной  $\gamma$ -активности обычно связываются с участками вероятного развития продуктивных диопсидовых образований (Якутия). На Ковдорском массиве оливин-пироксеновые образования отмечаются также и зонами несколько пониженных значений  $\Delta T$  ( $\Delta Z$ ).

Поисково-оценочные работы на флогопит предусматривают выделение залежей диопсидовых (в Якутии) и оливин-пироксеновых пород (Ковдорский массив). Так, для Ковдорского массива И.И. Сорокиной и А.Ф. Кузьминым (1963 г.) отмечена приуроченность оливин-пироксеновых пород к зонам спокойных и пониженных (до 1500 мА/м) значений поля  $\Delta T$  ( $\Delta Z$ ). По данным А.М. Сафонова и Б.Г. Мухамбеткалиева (1969 г.), диопсидовые породы Якутии выделяются различными геофизическими методами, но наиболее четко — магнито- и электроразведкой. Залежи этих пород нередко приурочены к отрицательным аномалиям геомагнитного поля интенсивностью примерно 400—800 мА/м. Работами В.Н. Сучкова и др. (1971 г.) на Каталахском флогопитоносном поле (Алдан) показано, что практически немагнитные продуктивные тела эмельджакского горизонта выделяются здесь по материалам магнитометрических съемок. В Якутии аномалиями проводимости ( $\rho_k < 1000 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ ) нередко отмечаются зоны дробления, катаклаза и выходы диопсидовых гнейсов и кристаллических сланцев. Аномалии высокого сопротивления ( $\rho_k > 5000 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ ) соответствуют в большинстве случаев породам гранитного состава и участкам развития отложений различного состава в очагах многолетней мерзлоты. На участках же со значениями

сопротивлений от 1500 до 5000 Ом·м обычно наблюдаются разрезы архейских пород, не затронутые вечной мерзлотой.

В ряде случаев залежи флогопита приурочены к породам с повышенным содержанием калия, вследствие чего их выделение возможно наземной и шпуровой гамма-съемками. При расчленении разрезов флогопитоносных толщ целесообразно шире использовать ГИС в модификации СГК, по данным которого залежи флогопита, как правило, четко выделяются повышенными значениями  $\gamma$ -излучения с энергией порядка  $0,23 \cdot 10^{-12}$  Дж, характерной для  $\gamma$ -квантов, связанных с распадом изотопа  $^{40}\text{K}$ .

Детальную разведку месторождений флогопита с целью изучения продуктивных тел целесообразно проводить в масштабе не менее 1:2000. В пределах эмельджакского горизонта (Якутия) эта задача успешно решается магниторазведкой, что обусловлено практической немагнитностью флогопитоносных тел. Вспомогательным методом является электроразведка.

Геофизические работы на месторождениях вермикулита проводились ограниченно. Так, на Тебинском месторождении (Кемеровская обл.) к оконтуриванию и оценке мощности залежей вермикулита привлекали ВЭЗ, а к решению аналогичных задач на Потанинском месторождении (Урал) — МСГ. Вследствие этого при разработке методики использования геофизики для поиска и разведки вермикулитоносных кор выветривания необходимо предусмотреть проведение опытных работ. Опытнометодические работы необходимы также и для детального изучения особенностей петрографических характеристик пород в околожильных зонах на месторождениях отдельных разновидностей слюд.

## СОЛИ МИНЕРАЛЬНЫЕ

Минеральные соли включают в себя различные породы и минералы, тесно связанные условиями образования и нахождения. Важнейшими из них являются простые и сложные хлориды и сульфаты Na, K, Mg с примесями ряда элементов и соединений. Галит (поваренная соль) образует практически мономинеральные залежи каменной соли и является доминирующим компонентом в залежах других солей. Калийно-магниевые соли по мощности и площади распространения занимают подчиненное положение по сравнению с каменной солью, которая выполняет роль вмещающего комплекса. Галит широко используется в пищевой консервной, химической промышленности, сельском хозяйстве и других отраслях. Калийно-магниевые соли в основном используются для производства удобрений, а также для получения многих соединений K и Mg, применяемых в производстве органического стекла, углекислоты и т.д.

Месторождения минеральных солей связаны с галогенными формациями, которые имеют широкое распространение. Основными их генетическими типами являются [26]: осадочные месторождения ископаемых солей, представленные пласто-, куполо- и штокообразными залежами нередко значительных размеров и мощностей; соляные источники и рассолы, а также современные месторождения, связанные с соляными озерами, заливами, лагунами.

Галогенные формации приурочены к отрицательным структурным элементам земной коры — краевым прогибам, синеклизам, авлакогенам и грабенообразным прогибам платформ, континентальным рифтовым зонам и межгорным впадинам. Соленосные бассейны с пластовым залеганием солей в основном приурочены к внутренним частям древних платформ, а солянокупольные бассейны развиты в их краевых, тектонически более мобильных частях.

Среди калиеносных формаций преимущественно распространены хлоридные; связанные с ними залежи калийно-магниевого солей обычно значительны по площади и выдержаны по мощности. Продуктивные толщи, как правило, представлены переслаиванием этих солей с галитом и терригенным материалом при широком развитии внутрисолевого тектоники. Мощность продуктивных пластов обычно около нескольких, реже первых десятков метров. Сульфатный тип калиеносных формаций представлен сернокислыми солями К и Mg с преобладанием каинитовых и лангбейнитовых пород. Рудные залежи, нередко крутопадающие (до  $75-80^\circ$ ), залегают в разрезе соленосных толщ многоярусными линзами и обособленными пластовыми телами. Глубина их залегания колеблется в пределах десятков и сотен метров при мощности рудных интервалов от 1,5 до 20—30 м, реже до 100—200 м, с размерами по простиранию до 0,5—1,5 км.

Галогенные образования и вмещающие породы дифференцированы по ряду физических параметров [36]. Так,  $\sigma$  галита примерно 2,10—2,15 г/см<sup>3</sup>, карналлита — 1,65 г/см<sup>3</sup> и сильвина — 1,93 г/см<sup>3</sup>. Из-за наличия различных примесей  $\sigma$  соленосных толщ несколько выше  $\sigma$  галита. На контакте галогенных образований с более плотными терригенными и карбонатными наблюдаются отрицательные величины  $\Delta\sigma$ , достигающие 0,25 и 0,50 г/см<sup>3</sup> соответственно. С увеличением глубины залегания галогенных комплексов  $\Delta\sigma$  возрастает, так как  $\sigma$  галита практически не изменяется, а терригенные отложения значительно уплотняются. Сульфатные минералы по сравнению с хлоридными обладают более высокими значениями  $\sigma$ , вследствие чего и у пород сульфатных разрезов  $\sigma_{ср}$  обычно выше (до 2,92 г/см<sup>3</sup>), чем  $\sigma_{ср}$  у отложений хлоридных разрезов (около 1,98 г/см<sup>3</sup>). Значения параметра  $v$  в различных соленосных толщах близки между собой и изменяются от 2,8 до 5,2 км/с. Во вмещающих неоген-палеогеновых, меловых и пермо-триасовых отложениях величины  $v$  (как показано в 1978 г. С.Б. Файницким и Е.Г. Скорняковой) обычно ниже — соответственно 1,7—2,0; 2,3—3,0 и 2—3 км/с. Удельное сопротивление пород соленосных толщ в целом высокое — 500 Ом·м и более. В пластах соли с пониженной естественной влажностью  $\rho$  еще значительно выше — до  $2 \cdot 10^{15}$  Ом·м, что намного выше  $\rho$  вмещающих глинистых и карбонатных пород. Отдельные разности галогенных отложений имеют различные  $\rho$ , величина которого, например, у галита почти на порядок превышает  $\rho$  залегающих в тех же условиях калийно-магниевого солей, что обусловлено, в частности, кавернозностью последних и микрокавернозностью сильвинитов [16, 34].

Большинство солей, в том числе и галит, характеризуются низкими

значениями  $I_\gamma$  (0,10–0,14 пА/кг), однако их  $\gamma$ -активность нередко возрастает вследствие вкрапленности сильвина и присутствия глинистого материала. Между содержаниями несольного глинистого материала и  $\gamma$ -активностью каменной соли обычно отмечается достаточно четкая зависимость, иногда используемая для оценки ее глинистости. Калийные соли обладают повышенными величинами  $I_\gamma$  (2,8–3,6 пА/кг), и  $\gamma$ -активность сильвинита и карналлита пропорциональна содержанию в них К, точнее говоря его радиоактивного изотопа  $^{40}\text{K}$ . Повышенная радиоактивность калийных солей относительно галитовых пород, пониженная плотность и различия теплофизических свойств у галогенных и вмещающих терригенно-карбонатных отложений небезынтересны с точки зрения оценки возможностей геотермических исследований и анализа некоторых особенностей соляной тектоники. Чистые разности солей имеют низкий коэффициент пористости (0,5–4,5 %), который в карбонатных и глинистых породах доходит до 10 и 35 % соответственно. Естественная влажность солей в 10–100 раз меньше, чем глинистых пород. Дифференцированность физических свойств у отдельных галогенных минералов, пород и комплексов, а также отличия последних по физическим параметрам относительно вмещающих образований являются благоприятными физико-геологическими предпосылками для применения геофизических методов при решении разнообразных геологических задач [23, 32, 34, 41].

При поиске и разведке месторождений минеральных солей объекты геофизических исследований следует аппроксимировать несколькими ФГМ в виде пластов различной мощности, протяженности, элементов залегания и литолого-фациального состава, а также куполо- и штокообразных тел обычно значительных размеров и мощностей. Залежи минеральных солей отличаются от вмещающих пород пониженными значениями электропроводности, плотности, ничтожными величинами магнитной восприимчивости и радиоактивности (последняя увеличивается при наличии глинистого материала и особо заметно — в толщах калийных солей), повышенными скоростями распространения упругих колебаний и теплопроводности. В связи с отмеченными обстоятельствами при поиске и разведке месторождений минеральных солей целесообразно комплексирование различных наземных геофизических методов (грави-, электро-, сейсморазведки и др.), электро-, радиоактивного и сейсмического (ВСП, АК) каротажа, а также метода РВП при уточнении набора геофизических исследований в отдельных регионах в зависимости от особенностей геологического строения, размеров и морфологии залежей, их вещественного состава и др. (см. табл. 2).

При поиске и разведке месторождений минеральных солей геофизические методы рекомендуется применять для решения различных задач (см. табл. 2). Характер последних и методические особенности геофизических исследований определяются детальностью геолого-геофизических съемок на отдельных стадиях геологоразведочных работ, направленностью последних на выявление залежей солей определенной структурно-тектонической приуроченности, особенностями геологического строения, морфологией продуктивных толщ и др.

На подстадии общего поиска (см. табл. 2) в областях развития солянокупольной тектоники геофизические методы необходимо применять для изучения характера распространения соляных куполов в пределах впадин и авлакогеноподобных структур и картирования галогенных отложений. Исходя из преимущественной дифференцированности отложений соленосных бассейнов по плотностным и электрическим свойствам в комплексе общепроисловых исследований необходимо предусматривать выполнение гравиметровой или градиентометрической съемки и электроразведки (МТТ, ВЭЗ и ЭП).

В областях развития солянокупольной тектоники выявление залежей солей сводится к установлению местоположения соляных куполов (штоков), которые фиксируются по данным гравиметровой съемки минимумами  $\Delta g$ . В ряде таких областей (Днепровско-Донецкая, Хатангская впадины и др.) гравитационные минимумы над куполами нередко осложнены и затушеваны вследствие наличия над куполами брекчиевидных пород с повышенной  $\sigma$ . При интерпретации гравиметрических материалов в ряде случаев целесообразно выполнять трансформирование наблюдаемого поля  $\Delta g$  в поля высших производных, нередко более четко отображающих особенности строения соленосных толщ и исключая влияние подстилающих и вмещающих отложений. Над некоторыми соляными куполами (Нордвикское месторождение и др.) отмечаются и локальные мозаичные поля  $\Delta Z$  положительного знака, обусловленные диабазовыми образованиями с повышенной  $k$  в перекрывающих купола породах.

При общем поиске месторождений пластового типа геофизические методы необходимо применять в основном для выявления залежей солей. Решать эту задачу, а также выяснять особенности строения продуктивных толщ рекомендуется по результатам среднemasштабных грави- и электроразведочных работ, которые достаточно широко и эффективно применяются в Припятской впадине, Предуральском прогибе и Предкарпатье. Здесь и в ряде других отечественных и зарубежных соленосных бассейнов залежи солей, как правило, выделяются по совпадающим в плане зонам пониженных значений  $\Delta g$  и повышенных величин  $\rho_k$ . В комплексе с грави- и электроразведкой необходимо использовать сейсморазведку и ГИС.

Выделение при общем поиске зон скопления рассолов и сильноминерализованных вод целесообразно выполнять различными модификациями электроразведки (такие зоны нередко фиксируются пониженными значениями  $\rho_k$ ). Наиболее результативно такие работы проведены на Украине, где в результате разбуривания электроразведочных аномалий выявлены месторождения как калийных солей (Тростянецкое), так и рассолов (Долинское, Болеховское, Бориславское).

При детально-поисковых работах геофизические методы необходимо применять для решения геологических задач, связанных с оконтуриванием залежей солей, оценкой их минерального состава и элементов залегания, а также для решения некоторых аналогичных задач применительно к детальному поиску зон скопления рассолов (см. табл. 2).

Состав комплекса и методические особенности геофизических исследований, необходимых для оконтуривания и оценки элементов залегания

залежей солей, несколько различны в зависимости от их структурно-тектонической выраженности. В районах развития слабо дислоцированных наклоннозалегающих (вплоть до вертикальных) пластовых залежей солей (Предкарпатье и другие регионы) рекомендуется применять гравиразведку в модификации вариометрической и градиентометрической съемок и электроразведку ЭП, ЗСБЗ.

При оконтуривании залежей солей и оценке элементов их залегания в солянокупольных областях гравиразведку целесообразно шире комплексировать с сейсморазведкой и сейсмокаротажными работами в поисковых скважинах. Совместное применение этих методов в большинстве случаев обеспечивает надежное изучение структурных особенностей и соотношения куполообразных структур, оценку глубин залегания и мощности соляных залежей, выяснение характера гипсометрии соляного зеркала и прослеживание выходов на него калиеносных горизонтов. В частности, положительные результаты получены при комплексировании грави- и сейсморазведки на Илецком месторождении, где уверенно оконтурен ряд соляных залежей. Совместная интерпретация данных грави- и сейсморазведки (ПЗ, МОВ, КМПВ и др.) обеспечила на площадях Прикаспия выяснение структуры и мощности надсолевых, а в ряде случаев и подсолевых отложений.

При значительной глубине залегания соляных куполов и сложном характере сейсмогеологического разреза сейсморазведку необходимо дополнять гравиразведкой, а наземные геофизические методы целесообразно шире комплексировать с ГИС в различных их модификациях, в том числе и с сейсмокаротажем. Элементы залегания соляных толщ в пределах всего купола наиболее уверенно оцениваются по данным СК и АК в скважинах, пройденных в ядре купола.

Задача оконтуривания зон рассолов и оценки глубины залегания рассольных горизонтов успешно решается, как показали в 1977 г. Е.В. Кирик и Я.С. Сапужак, методом ВЭЗ. Оконтуривание и оценку элементов залегания залежей солей в районах слабо дислоцированных галогенных образований, как правило, рекомендуется выполнять путем комплексирования детальной гравиметровой съемки масштаба 1:25 000 и крупнее с электроразведкой в модификации ВЭЗ и ЭП. В ряде случаев целесообразно применять и метод ЗСБЗ [35], который по сравнению с ВЭЗ обеспечивает увеличение глубинности поисковых работ и позволяет достаточно уверенно оконтуривать "слепые" залежи солей, перекрытые мощной толщей терригенных пород. Наземные геофизические методы необходимо шире комплексировать с ГИС (ГК и др.). По данным ГИС в ряде случаев устанавливается и минеральный тип соляных залежей [16].

При поисково-оценочных работах геофизические методы рекомендуется применять для уточнения особенностей геологического строения, минералогического состава и элементов залегания залежей солей, отдельных соленосных и рассольных георазрывов (см. табл. 2). К решению этих и некоторых других задач в районах слабо дислоцированного залегания солей целесообразно привлекать высокоточную детальную электроразведку ВЭЗ, ЭП и ЗСБЗ [35], а также ГИС в модификациях ГК, ННК и др.

В областях развития солянокупольной тектоники рациональный комплекс геофизических методов должен включать вариометрическую съемку по сгущенной сети наблюдений (100×300 м), детальную электроразведку (ВЭЗ и ЭП дивергентными установками). Необходимо также использовать АК и другие методы ГИС, обеспечивающие изучение особенностей геологического строения по разрезу скважин и в межскважинном пространстве.

Успешно применены геофизические методы на различных подстадиях поисковых работ в Предкарпатском бассейне (Бориславское, Велико-Белинское и другие месторождения). По результатам электроразведочных работ в пределах регионального минимума  $\Delta g$  установлена аномальная зона повышенных значений  $\rho_k$  протяженностью до 8 км, детализация которой выполнялась методами ВЭЗ, ЭП и вариометрической съемкой. При разбуривании аномальной зоны  $\rho_k$  в ее пределах вскрыты горизонты калийных солей. Основной пласт таких солей Бориславского месторождения находится в узкой (около 400 м) зоне повышенных значений параметра  $\rho_{\text{кон}} \operatorname{tg} \alpha$  ( $\rho_{\text{кон}}$  — значения  $\rho_k$  на правых восходящих ветвях кривых ВЭЗ) и трассируется по данным ЭП с трехэлектродной установкой. Расхождения геологических и геофизических данных в основном отмечаются на участках замещения галитом калийных солей при выходе последних под гипсово-глинистую шляпу.

При общем поиске в районе с. Великая Белина в результате комплексирования ВЭЗ и гравиразведки выявлен участок повышенных значений  $\rho_k$ , совпадающий с зоной локальных минимумов  $\Delta g$  (рис. 41). Этот участок, фиксируемый кривыми ВЭЗ с  $AB/2$  от 325 до 500 м, оконтурен при сгущении профилей ВЭЗ до 0,5—1,0 км, а детализация высокоомных аномалий  $\rho_k$ , выявленных ВЭЗ, осуществлена ЭП с дивергентными установками. Последующим бурением в большинстве высокоомных аномалий вскрыты пласты калийных солей, которые по геолого-геофизическим данным залегают в сопряженных анти- и синклинальных складках. Особенности пространственного размещения высокоомных аномалий позволили наметить на опоскованных площадях тектонические нарушения.

В Предкарпатье по данным радиометрических исследований установлено наличие над залежами калийных солей гамма-аномалий, связанных с ореолами рассеяния  $K_2O$  (0,1—0,4 % и более) в приповерхностных отложениях. Выявлены некоторые геохимические особенности ореолов рассеяния  $K_2O$  и оценено влияние факторов (атмосферные осадки, влажность почв, ландшафт и др.), осложняющих проведение радиометрических съемок и интерпретацию их материалов.

Различия параметра  $\lambda$  калийных солей, вмещающих глин и песчаников ( $6,2 \cdot 10^{-3}$ ;  $0,86 \cdot 10^{-3}$  и  $(1,1-2,6) \cdot 10^{-3}$  Вт/мК соответственно) и некоторые особенности геологического строения соленосных бассейнов позволяют опробовать при поиске залежей минеральных солей различные модификации геотермического метода, для уточнения геологических возможностей которого целесообразно провести опытно-методические работы. Последние желательны также и для оценки применимости радиолокационной съемки, опробованной над залежами солей за рубежом. Заслужива-

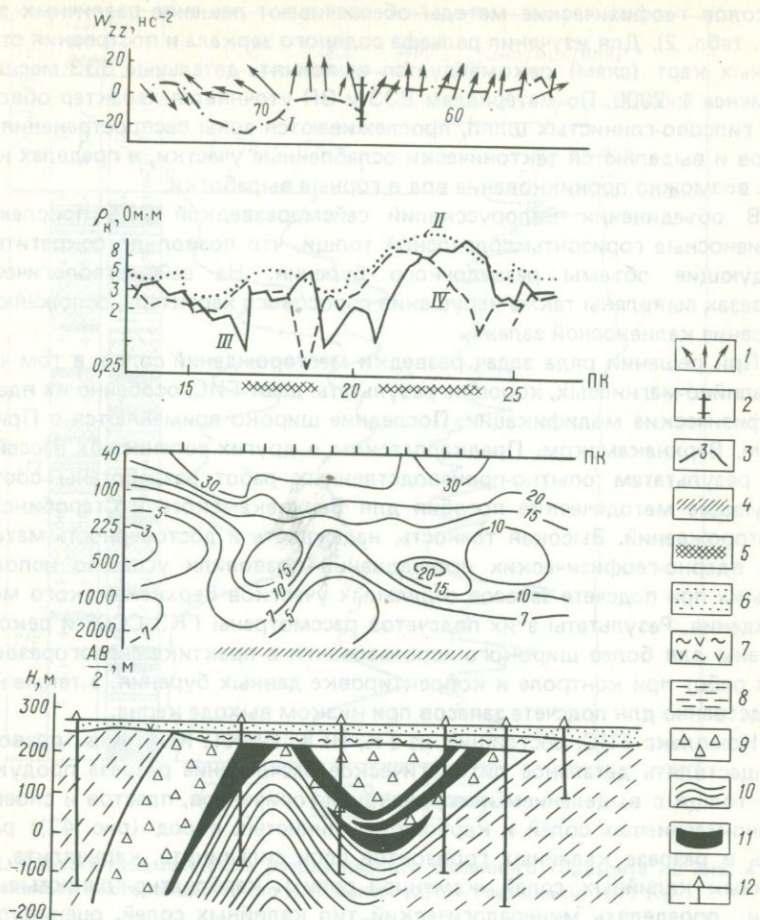


Рис. 41. Результаты геолого-геофизических исследований на участке Великая Белина (по М.А. Климову, А.И. Брытану, М.К. Гнилко, 1977 г.).

1 – векторы градиентов  $\Delta g$ ; 2 – оси локальных минимумов  $\Delta g$ ; 3 – значения изолиний  $\rho_k$ , Ом·м; 4 – геопозитивы, 5 – ЭП; 6 – супеси и суглинки; 7 – гипсово-глинистая шляпа; 8 – аргиллиты с прослойками песчаников; 9 – соленосные брекчии и глины; 10 – соленосные брекчии и песчаники; 11 – калийные соли; 12 – скважины; I – кривая  $W_{zz}$ ; II – график  $\rho_k$  по данным МСГ; III – ВАМОН', IV – МОН'АВ

ет внимания опыт геофизических исследований, накопленный при поиске и разведке залежей озерных солей и подземных рассолов Алтайской ГФЗ ПГО Запсибгеология.

При предварительной и детальной разведке месторождений солей и

рассолов геофизические методы обеспечивают решение различных задач (см. табл. 2). Для изучения рельефа соляного зеркала и построения структурных карт (схем) рекомендуется выполнять детальные ВЭЗ масштаба не менее 1:2000. По материалам ВЭЗ и ЭП уточняется характер обводнения гипсово-глинистых шляп, прослеживаются зоны распространения рассолов и выделяются тектонически ослабленные участки, в пределах которых возможно проникновение вод в горные выработки.

В объединении Белорусских сейсморазведкой ОГТ прослежены калиеносные горизонты соленосной толщи, что позволило сократить следующие объемы разведочного бурения. На сейсмогеологических разрезах выявлены также нарушения сбросового характера, осложняющие строение калиеносной залежи.

При решении ряда задач разведки месторождений солей, в том числе и калийно-магниевых, хорошие результаты дают ГИС, особенно их ядерно-геофизические модификации. Последние широко применяются в Припятском, Верхнекамском, Предкарпатском и других соленосных бассейнах. По результатам опытно-производственных работ разработаны соответствующие методические пособия для Верхнекамского и Старобинского месторождений. Высокая точность, надежность и достоверность материалов ядерно-геофизических исследований позволили успешно использовать их при подсчете запасов отдельных участков Верхнекамского месторождения. Результаты этих подсчетов рассмотрены ГКЗ СССР и рекомендованы для более широкого использования в практике геологоразведочных работ при контроле и корректировке данных бурения, а также непосредственно для подсчета запасов при низком выходе керна.

Комплекс ГИС, состоящий из ГК, НГК, БМКТ, КС и Кав., позволяет осуществлять детальное литологическое расчленение разреза продуктивной толщи с выделением и корреляцией горизонтов, пластов и слоев калийно-магниевых солей и карбонатно-глинистых пород (рис. 42); разделять в разрезе калийных горизонтов слои сильвинита, карналлита, смешанных калийных солей, каменной соли и карбонатно-глинистые прослои; определять минералогический тип калийных солей, оценивать содержание К, н.о. и ряда ингредиентов в продуктивных породах. Указанный комплекс ГИС можно рекомендовать для решения перечисленных геологических задач и в других соленосных бассейнах. Обычно  $\gamma$ -активность калийных солей в 2–3 раза больше, чем карбонатных и глинистых пород, что позволяет по диаграммам ГК уверенно их дифференцировать. В тех случаях, когда  $\gamma$ -активность калийных солей и глин соразмерна, для их расчленения необходимо привлекать НГК и КС, фиксирующие глины минимальными показаниями параметров на этих кривых. Для разделения глин и карналлита рекомендуется использовать материалы КС, по диаграммам которых карналлит имеет более высокие значения  $\rho_K$ , чем глины. Установлена зависимость показаний НГК от минерального типа калийных солей и соотношения в ней сильвинита и карналлита. Сопоставление результатов опробования керна и диаграмм НГК свидетельствует, что показания НГК, соответствующие пластам сильвинита и каменной соли, сходны, а прослой карналлита отмечаются уменьше-

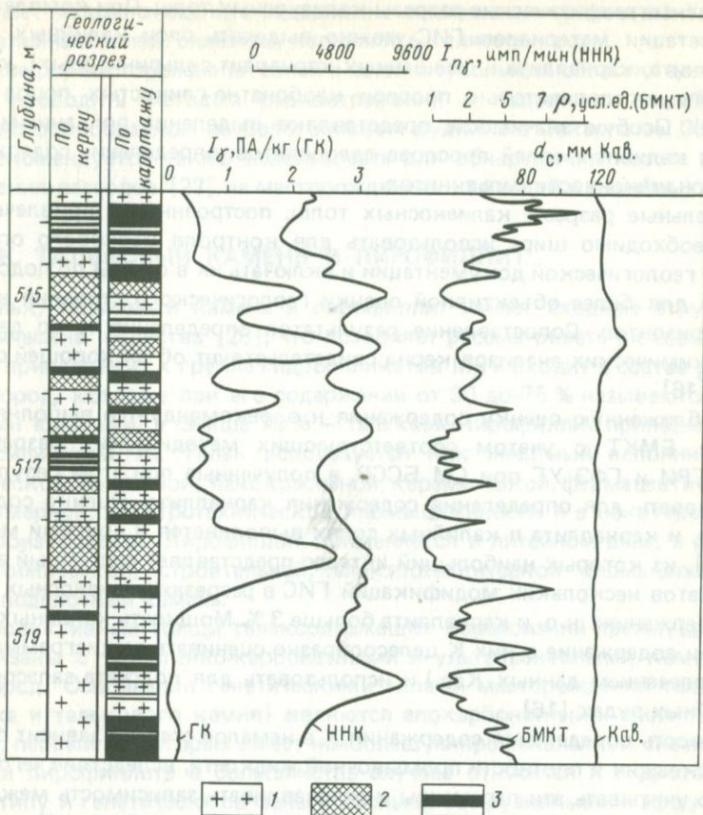


Рис. 42. Геолого-геофизический разрез первого калийного горизонта по скв. 419 Старобинского месторождения (по И.А. Зыкову, Л.И. Родионову, 1977 г.).

Соль: 1 — каменная, 2 — калийная; 3 — карбонатно-глинистые породы

нием показаний НГК. Экспериментально выяснены зависимости между показаниями ННК-НТ и минеральным типом калийных солей [16], позволяющие оценивать содержание карналлита. Присутствие карналлита в разрезе отмечается и по данным ГГКП, но его показания в значительной степени зависят от диаметра скважин.

На Петриковском месторождении успешно опробован БМКТ с аппаратурой БКР-2, по показаниям которого глинистые пласты выделяются повышенными показаниями относительно каменной и калийных солей. Преимуществом БКР-2 перед ДРСТ-2 и другой аппаратурой является возможность одновременного проведения РК и ЭК, а также более четкая дифференциация разреза соленосной толщи на кривых БМКТ.

Комплекс ГИС (ГК, ГГК, АК, Кав. и БМКТ) позволяет получать

объективные геофизические разрезы калиеносных толщ. При комплексной интерпретации материалов ГИС можно выделять слои калийных солей (сильвинита, карналлита и смешанных карналлит-сильвинитовых), каменной соли и галопелитовые прослои карбонатно-глинистых пород (см. рис. 42). Особую значимость представляют выделение по данным ГИС в слоях калийных солей прослоев галопелитов, определение содержания н.о. и кондиционности сильвинитов.

Детальные разрезы калиеносных толщ, построенные с привлечением ГИС, необходимо шире использовать для контроля ядерного опробования и геологической документации и включать их в отчеты по подсчетам запасов для более объективной оценки геологического строения калийных горизонтов. Сопоставление результатов определения К по данным ГИС и химических анализов керна свидетельствует об их хорошей сходимости [16].

Приближенную оценку содержания н.о. рекомендуется выполнять по данным БМКТ с учетом соответствующих методических разработок БелНИГРИ и ГФЭ УГ при СМ БССР, а полученные при этом результаты использовать для определения содержания карналлита. Оценка содержания н.о. и карналлита в калийных солях выполняется и другими методами [16], из которых наибольший интерес представляет системный анализ результатов нескольких модификаций ГИС в разрезах калиеносных солей при содержаниях н.о. и карналлита больше 3%. Мощность калийных горизонтов и содержание в них К целесообразно оценивать по диаграммам ГК (с привлечением данных Кав.) и использовать для подсчета запасов  $K_2O$  в калийных рудах [16].

Точность определения содержания К в немалой степени зависит от диаметра скважин и плотности промывочной жидкости, вследствие чего необходимо учитывать эти параметры и устанавливать зависимость между кажущейся и истинной мощностями слоев калийных солей и др. Измерения  $\gamma$ -активности калийных горизонтов и интерпретация кривых ГК выполняются по методике, принятой для гамма-аномалий урановой природы, с учетом фоновой  $\gamma$ -активности, вызванной промывочной жидкостью. Детальный ГК масштаба 1:50 необходимо выполнять аппаратурой ДРСТ-2 во всех поисковых и разведочных скважинах по методике двукратного измерения в продуктивной толще после проведения каротажа масштаба 1:500 по всему разрезу и выявления горизонтов, подлежащих детализации. Для расчета содержания калия рекомендуется использовать формулу:  $C_K = S/hk$ , где  $S$  — площадь аномалии с учетом поправок по данным Кав.;  $h$  — мощность слоя;  $k$  — пересчетный коэффициент, равный 0,14 пА/кг на 1% К.

В скважинах, бурящихся на калийные соли, обычно достаточно выполнять ГК, БКЗ (или БМКТ, АК и Кав.) масштаба 1:500 по всей соленосной толще, что обеспечивает ее расчленение и выделение калийных горизонтов. Выделенные калийные горизонты должны подвергаться детальным исследованиям масштаба 1:50 путем проведения ННК-НТ, БМКТ и ГК. Кавернометрия масштаба 1:50 обязательна при скорости перемещения каверномера не более 350–400 м/с. Вышеназванный комплекс ГИС

позволяет надежно оценить содержание основных ингредиентов хлоридных калийных солей: сильвина, карналлита, галита и н.о.

Разведку месторождений солей в солянокупольных областях целесообразно проводить методом радиоотражений в подземных выработках, успешно опробованном на Солотвинском руднике в Закарпатье. Этот метод рекомендуется также использовать для обнаружения карста и мест скопления рассолов [23] на месторождениях каменной и калийных солей.

## ТАЛЬК, ТАЛЬКОВЫЙ КАМЕНЬ И ПИРОФИЛЛИТ

Тальк, тальковый камень и пирофиллит имеют сходные структуры и физические свойства [26], что позволяет рассматривать их совместно. Тальк принадлежит к группе гидросиликатов Mg и входит в состав различных пород, которые при его содержании от 30 до 75 % называются тальковыми камнями, а свыше 75 % — тальком. Пирофиллит принадлежит к гидросиликатам Al. Тальк используется как инертный наполнитель в химической, бумажной, лакокрасочной, керамической, фармацевтической, парфюмерной, электротехнической промышленности и в некоторых других производствах. Пирофиллит применяется в литейном деле, в резиновой, химической, строительной, электротехнической промышленности и как поделочный камень.

Продуктивные толщи тальксодержащих образований преимущественно связаны с терригенно-карбонатными и ультраосновными комплексами пород. Основными генетическими типами месторождений талькитов (талька и талькового камня) являются апокарбонатный и апогипербазитовый, первый из которых имеет наибольшую промышленную значимость. Залежи пирофиллита в большинстве случаев относятся к гидротермальному типу и генетически связаны с кислыми интрузивными и эффузивными породами, туфами, кварцевыми и кристаллическими сланцами.

Залежи талькитов имеют пласто-, жило и линзообразную форму мощностью от единиц до десятков и первых сотен метров при протяженности десятки и сотни метров. Тела талькитов, возникшие по ультраосновным образованиям, как правило, являются более мелкоразмерными, чем образовавшиеся по магнезиально-карбонатным породам. По сравнению с собственно тальковыми продуктивными толщами тальковых камней обычно имеют более значительные размеры (мощность их от 10—20 до 200—250 м при протяженности до 3—4 км). Залежи пирофиллита встречаются в виде линз, жил и отдельных пластов с мощностью до 40 м и протяженностью до 500 м.

Талькиты, как правило, практически немагнитны или имеют незначительные величины  $k$ , вследствие чего они обычно контрастно отличаются от вмещающих ультраосновных пород (табл. 13). Неразрушенные ультраосновные породы характеризуются более высокими по сравнению с талькитами значениями  $\rho$ , но с увеличением измененности гипербазитов последние по  $\rho$  нередко соизмеримы с тальксодержащими породами. Удельное сопротивление рыхлых талькитов Алгуйского месторождения около  $(1-2) \cdot 10^3$  Ом·м, что несколько ниже удельного сопротивления вмещаю-

Таблица 13. Физические свойства талькиотов, пиррофиллитовых сланцев и вмещающих пород [36 и др.]

Породы	$\kappa, 10^{-5}$ ед. СИ	$\rho, \text{Ом}\cdot\text{м}$	$\sigma, \text{г/см}^3$	$v, \text{км/с}$	$I_{\gamma}, \text{пА/кг}$
Талькиты	0–10	до $1,5 \cdot 10^3$	2,55–2,69	4,6–5,0	5,7–11
Пиррофиллитовые сланцы	0–7	$10^3 - 10^6$	2,56–2,76	4,5–5,2	–
Гипербазиты	$6 \cdot 10^3$	$10^5 - 10^6$	3,19–3,40	7,0–7,7	–
Серпентиниты	до $40 \cdot 10^3$	$3,5 \cdot 10^2 - 1 \cdot 10^3$	2,48–2,59	5,3	–
Гнейсы биотитовые и амфиболовые	0–300	$10^3 - 10^4$	2,63–3,07	3,0–5,5	5–7,2
Сланцы серицито-кварцево-хлоритовые	10–100	$10^3 - 10^5$	2,50–2,80	4,5–5,7	–
Доломит	0	$10^3 - 10^5$	1,90–3,00	0,9–6,3	5–7,2
Алеврит песчанистый	2–530	$2 \cdot 10 - 1 \cdot 10^3$	1,70–2,90	1,5–4,0	–
Гранитоиды	50–300	$10^3 - 10^5$	2,50–2,78	5,0–5,5	21–360

щих карбонатов. По сравнению с талькитами доломиты имеют повышенные значения  $\rho$ ,  $\sigma$  и  $v$ . Талькиты обладают пониженными величинами параметра  $I_{\gamma}$  относительно гранитоидов. Физические свойства пиррофиллитовых сланцев и вмещающих кварцитов в большинстве случаев мало различаются.

Применительно к поиску и разведке месторождений рассматриваемых видов сырья объекты геофизических исследований следует аппроксимировать ФГМ в виде средне- и маломощных пластов, различных по протяженности и условиям залегания. Талькиты практически немагнитны, имеют пониженную радиоактивность и обладают различной дифференцированностью относительно вмещающих пород по электрическому сопротивлению, плотности и упругим свойствам. С учетом этих и некоторых других обстоятельств представляется оправданным при поиске и разведке залежей талькиотов, например, апокарбонатного типа комплексировать магнито-, электро-, в меньшей степени грави- и сейсморазведку с определенными объемами работ методом эманационной съемки и ограниченным набором модификаций ГИС (КС, ПС, ВП) и др. (см. табл. 2).

Особенности изменения физических свойств продуктивных и вмещающих пород, а также приуроченность первых из них к характерным геологическим образованиям, отражающимся в ряде физических полей, нередко являются благоприятными физико-геологическими предпосылками для применения геофизических методов в поисково-разведочной практике [23].

Так, бурением выявлены Правдинское и Веселянское месторождения талька на Украине в контурах установленных ранее аномалий геомагнитного поля.

При поиске месторождений талькового сырья и пиррофиллита геофизические методы обеспечивают решение различных задач (см. табл. 2).

В процессе общего поиска геофизические методы целесообразно применять для выявления участков возможной локализации продуктивных тел. Применительно к месторождениям апокарбонатного типа это будут контакты карбонатных (магнезиально-карбонатных) комплексов пород с гранитоидами и кремнистыми образованиями; применительно к месторождениям апогипербазитового типа — контакты неразрушенных гипербазитов с их серпентинизированными разностями и гранитоидами.

Относительно карбонатных толщ гранитоидные интрузии обычно отличаются повышенными значениями  $Z_a$ , радиоактивности и пониженными величинами  $\Delta g$ ; кремнистые образования — пониженными величинами  $\rho_K$ ; метаморфизованные образования — повышенными значениями  $Z_a$ . По сравнению с серпентинизированными разностями ультрабазитов и гранитоидами ненарушенные гипербазиты, как правило, отмечаются повышенными значениями  $\Delta g$ ,  $\rho_K$ ,  $v$ , а иногда и  $Z_a$ . Такая дифференцированность продуктивных и вмещающих пород определяет комплексность рекомендуемых геофизических исследований и некоторые методические особенности их проведения (см. табл. 2). Так, результаты магниторазведки на Шабровском тальконосном поле (Средний Урал) обеспечили выделение и картирование серпентинизированных гипербазитов среди метаморфических образований карбонатно-сланцевой свиты и установление на контакте этих комплексов перспективных на выявление тальцитов аномалий, часть которых подтверждена бурением. В пределах Украинского кристаллического щита по детальным гравиметрическим данным осуществлено, как показал в 1975 г. В.А. Ахметшин, картирование площадей распространения ультрабазитов и их серпентинизированных разностей, а также выделение зон развития тальково-карбонатных пород, незначительно отличающихся здесь по  $k$  от серпентинитов.

При детальном поиске геофизические методы следует применять для уточнения особенностей геологического строения поисковых площадей с целью выделения на них продуктивных образований (см. табл. 2). Применительно к поиску тальцитов апокарбонатного типа рекомендуется проводить в основном электро- и магниторазведку, по материалам которых залежи талька и тальковых камней на контактах магнезиально-карбонатных пород с гранитоидными интрузиями и с метаморфизованными кремнистыми образованиями выделяются более четко, чем на контактах карбонатных пород с неметаморфизованными кремнистыми. К выявлению залежей тальцитов апогипербазитового типа следует привлекать магнитометрическую съемку, а дополнительно проводить электро- и гравиразведочные работы. По геофизическим данным залежи талька и тальковых камней в серпентинитовых образованиях выделяются увереннее, чем на контактах последних с кристаллическими сланцами и в самих сланцах. Тальконосные залежи в сланцах нередко выявляются и электроразведкой.

При поиске продуктивных толщ на Урале тальково-хлористо-карбонатные образования, оталькованные и карбонатизированные серпентиниты картируются по пониженным величинам поля  $Z_a$  (обычно менее 400 мА/м), но локальные минимумы  $Z_a$  над некрупными тальковыми телами нередко выделяются с трудом, так как они "затушеваны" влия-

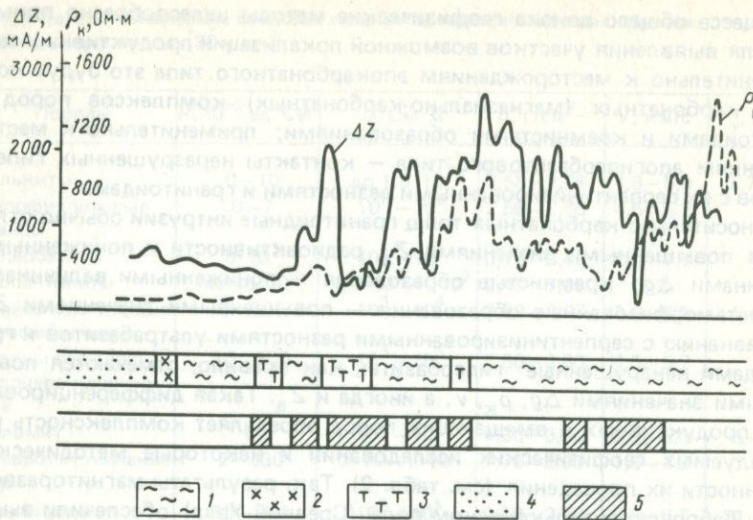


Рис. 43. Результаты магнито- и электроразведочных работ в пределах Нижне-Тагильского гипербазитового массива (по Б.В. Дорофееву и В.Н. Шмакову, 1961 г.).

1 — серпентиниты; 2 — диориты; 3 — тальково-карбонатные породы; 4 — четвертичные отложения; 5 — предполагаемые тела тальково-карбонатных пород по геофизическим данным

нием более интенсивных (до 2000—3200 мА/м и более) и крупноразмерных (до десятков и сотен квадратных километров) аномалий  $Z_a$  над серпентинитовыми массивами. На контактах серпентинитов с кристаллическими сланцами залежи тальцитов нередко отмечаются отрицательными аномалиями  $Z_a$  интенсивностью менее 240—400 мА/м, вследствие чего зоны пониженных значений  $Z_a$  на контактах этих пород могут быть перспективными на выявление залежей талька и их следует передавать на разбуривание.

На Анатолюско-Шилловском рудном поле Нижне-Тагильского гипербазитового массива комплексирование магнито- и электроразведки (ДЭП, СЭП, ВЭЗ, МСГ) обеспечило картирование по пониженным значениям  $Z_a$  и  $\rho_k$  зон тектонических (включая и разломные) нарушений (рис. 43), нередко контролирующих продуктивные тела, ряд которых впоследствии был выявлен в пределах таких геофизических аномалий. На Правдинском месторождении залежи тальково-карбонатных пород среди серпентинитов отмечены максимумами  $\Delta g$ , минимумами  $Z_a$  и аномалиями  $W_{zz}$  различных знаков и интенсивности.

При поисково-оценочных работах геофизические методы рекомендуется применять для оценки размеров и мощности залежей тальцитов, а также мощности перекрывающих пород. Решение этих задач в пределах залежей тальцитов апокарбонатного и апогипербазитового типа целесообразно выполнять комплексом наземных и скважинных геофизических

исследований (см. табл. 2), который опробован на ряде тальконосных площадей в различных регионах СССР.

Опытные работы на Збраньковском месторождении пиррофиллита показали, что продуктивные отложения практически не выделяются среди вмещающих пород по данным электроразведки (СЭП), магнито- и гравиразведки, что указывает на целесообразность проведения соответствующих тематических и опытно-методических работ с оценкой геологических возможностей различных геофизических методов и их комплексов.

При предварительной и детальной разведке месторождений талькистов апокарбонатного и апогипербазитового типов комплексирование наземных и скважинных геофизических методов с геологическими работами обеспечивает решение ряда задач (см. табл. 2). На Алгуйском месторождении тальковая залежь представлена незначительно дифференцированными по  $\rho$  рыхлыми породами, обладающими повышенной электропроводностью относительно неразрушенных подстилающих образований. Такой характер геоэлектрического разреза затруднил выделение здесь по данным электроразведки и электрокаротажа отдельных разностей продуктивных пород, но позволил с успехом использовать материалы ВЭЗ для оценки мощности коры выветривания и выделения в ее подошве участков локального погружения ("карманов"). Вследствие расхождения "физических" границ, устанавливаемых ВЭЗ в толще неразрушенных карбонатно-кремнистых образований, и "литологических" границ, выделяемых бурением непосредственно в кровле этих же пород, в материалы интерпретации ВЭЗ потребовалось ввести соответствующие поправки.

По результатам магниторазведки на Алгуйском месторождении выделены секущие тальковую залежь диабазовые дайки, интенсивность значений  $Z_a$  над которыми колеблется от 0—40 до 400 мА/м вследствие изменений величин  $k$  у отдельных разностей интрузивных пород. Выяснение по данным магниторазведки простирания даек (вскрытых ранее, а также выявленных геофизикой) позволило выделить отдельные блоки продуктивной толщи и более целенаправленно вести дальнейшую разведку месторождения.

При разведке Правдинского месторождения электроразведка (ВП) и ГИС (КС, ПС, КЭП, КСК, ВП) обеспечили оконтуривание зон развития тальково-карбонатных и амфиболито-гнейсовых образований. Для литологического расчленения разреза и выделения в нем тальконосных горизонтов на месторождениях Чорчанской группы успешно привлекались ГИС (КС, ПС и ВП). При оценке здесь мощности продуктивных горизонтов отмечались расхождения между геологическими и геофизическими данными, что, по-видимому, обусловлено недостаточной изученностью физических свойств пород и несовпадением (как и на Алгуйском месторождении) "геофизических" и "геологических" границ.

На месторождениях апогипербазитового типа тальково-карбонатные и вмещающие породы в ряде случаев обладают близкими значениями  $\rho$  и  $k$ , вследствие чего выделение соответствующими геофизическими методами продуктивных образований, особенно незначительных размеров,

недостаточно эффективно. Однако на Березовском месторождении (Урал) в полосе пониженных значений  $Z_a$ , соответствующей тальконосным гипербазитовым породам, детальной и высокоточной магниторазведкой выявлены локальные минимумы  $Z_a$ , геологическая проверка которых привела к выявлению здесь небольших по размерам промышленных жил талько-хлорита. Успешное решение аналогичной задачи на Медведевском месторождении (Урал) обеспечено эманационной съемкой, по данным которой минимумами концентрации эманации радона  $(0-7,4) \cdot 10^3$  Бк/м<sup>3</sup> выделены тальковые тела мощностью до 0,3—0,5 м [33].

## ФЛЮОРИТ

Флюорит, или плавиковый шпат,  $\text{CaF}_2$  — широко распространенный минерал. Он используется в черной металлургии в качестве флюса, в химической промышленности — для производства фтористоводородной кислоты и различных соединений, в алюминиевой промышленности — для производства криолита, а также в электрохимической, пищевой, фармацевтической, ракетной и ряде других отраслей хозяйства.

Формирование флюоритового оруденения обусловлено деятельностью высоко-, средне- и низкотемпературных гидротермальных растворов. Месторождения и проявления флюоритовых руд приурочены, как правило, к областям тектонической активизации, связанным с зонами крупных региональных разломов, к оперяющим их разрывным структурам, мезозойским впадинам, областям сочленения платформенных и геосинклинальных структур или щитов и платформенных структур, трещинным интрузиям гранитоидов [26]. Основными генетическими типами флюоритовой минерализации, по Л.С. Пузанову, являются гидротермальный, пневмолито-гидротермальный, выветривания и не имеющие в настоящее время промышленной ценности магматический и осадочный. Промышленные месторождения флюорита встречаются в карбонатных, терригенных, метаморфических породах, эффузивно-терригенных образованиях, гранитоидах и зонах брекчирования по контактам магматических пород с вмещающими. Основные минеральные типы их: флюоритовый, кварц-флюоритовый, кальцито-кварц-флюоритовый, сульфидно-кварц-флюоритовый и барито-кварц-флюоритовый. Морфология рудных тел разнообразная, но большинство из них представляют собой плито-, пласто- и линзообразные тела с размерами по простиранию иногда до 1 км и более, по падению до сотен метров и с мощностью от первых сантиметров до нескольких метров. Помимо этих основных форм встречаются седловидные, куполовидные, трубообразные тела, штоки, штокверки, карманы, ниши различных размеров и плащеобразные элювиально-делювиальные россыпи. Флюоритовые тела приурочены, как правило, к зонам тектонических нарушений, сопровождаемых гидротермальными изменениями пород, выражающимися в их осветлении, оплакивании, окварцевании, хлоритизации, серицитизации, каолинизации и др. Мощность зон измененных пород варьирует от десятков сантиметров на низкотемпературных месторождениях до нескольких десятков метров на высокотемпературных.

Основными предпосылками для использования геофизических методов при поиске и разведке флюоритовых месторождений являются различие в физических свойствах продуктивных и вмещающих пород, а также приуроченность плавиковошпатовых оруденений к геологическим структурам, отображающимся в физических полях. Флюорит обладает повышенной плотностью, и избыточная плотность флюоритовых руд в гранитах достигает  $0,3-0,6 \text{ г/см}^3$ , а в осадочных породах  $1 \text{ г/см}^3$  и более, причем приращение  $\Delta\sigma$  прямо пропорционально содержанию плавика в руде [4]. Несмотря на значительную величину  $\Delta\sigma$ , гравиразведка не всегда эффективна из-за сравнительно небольших размеров большинства рудных тел. Собственно флюорит и сопутствующий ему кварц практически немагнитны, и это дает возможность выделять иногда рудные зоны среди пород, обладающих повышенной магнитной восприимчивостью. Пониженная  $\gamma$ -активность рудных тел относительно более активных интрузивных образований позволяет использовать радиоактивные методы. Пьезоэлектрические свойства флюорита и сопутствующего ему кварца позволяют в определенных геологических условиях использовать ПЭМ (табл. 14). Зоны дробления, нередко контролирующие продуктивные оруденения, выделяются значительным понижением  $\rho_k$  и потерей корреляции сейсмических волн. Эти зоны и рудные тела, обогащенные сульфидами, отмечаются аномалиями  $\eta_k$ , а участки окварцевания и оплавления пород — понижением электропроводности. Одним из характерных свойств флюорита, используемых для прямого опосредованного поиска плавиковошпатовых образований, является способность фтора при облучении быстрыми нейтронами к реакции  $^{19}\text{F} (n, \alpha) \rightarrow ^{16}\text{N}$  с образованием при этом радиоактивного изотопа  $^{16}\text{N}$ , надежно фиксируемого ядерно-геофизическими методами.

В большинстве случаев при геофизических исследованиях потенциально флюоритносные зоны разрывных тектонических нарушений можно аппроксимировать ФГМ в виде бесконечных по простиранию и на глубину вертикальных тонких пластов, отличающихся от вмещающих образований избыточной плотностью, повышенными значениями электропроводности и поляризуемости, аномальными магнитными и пьезоэлектрическими свойствами, а также способностью к нейтронной активации. На этом основании оправдано использование при общем и детальном поиске различных модификаций электрического профилирования, метода ВП, магниторазведки. При поисково-оценочных и разведочных работах целесообразно подключать к отмеченным методам нейтронно-активационные исследования (съемка, каротаж, опробование), высокоточную гравиразведку и ПЭМ (см. табл. 2).

Разнообразные геологические условия локализации флюоритовой минерализации и морфологические особенности рудных тел обуславливают необходимость использования в конкретных условиях определенных комплексов геолого-геофизических методов, а установленные физико-геологические предпосылки позволяют судить о возможности решения широкого круга геологических задач на различных стадиях геологоразведочного процесса (см. табл. 2).

Таблица 14. Физические свойства продуктивных и вмещающих образований (по Н.Б. Дортман, А.А. Липатову, Н.М. Нейштадту, А.М. Петрицевскому, Е.А. Савинцу и др., 1965—1979 гг.)

Рудные минералы и вмещающие породы	$\sigma$ , г/см <sup>3</sup>	$\rho$ , Ом·м	$\kappa$ , 10 <sup>-5</sup> ед. СИ	Радиоактивные параметры <sup>1</sup>	$v$ , м/с	Пьезоэлектрические параметры <sup>2</sup>
1	2	3	4	5	6	7
Флюорит	2,8—3,2	10 <sup>6</sup>	0	<u>0,64—1,1</u> 0,04; —; —	—	—
Кварц	2,4—2,9	10 <sup>6</sup> —10 <sup>14</sup>	0	—	6000	— <u>2300—126500</u>
Кальцит	2,4—2,5	—	0	—	6700	—
Барит	4,3—4,7	10 <sup>3</sup> —10 <sup>6</sup>	0	—	—	—
Кварц-флюоритовые жилы	2,5—3,0	10 <sup>3</sup> —6·10 <sup>3</sup>	0	<u>0,35—0,86</u> —	—	<u>0,006—0,04</u> —
Граниты биотитовые, лейкократовые и др.	2,4—2,8	(4—45)·10 <sup>2</sup>	0—250	<u>2,86</u> 4—7; 15—40; 3—4	3800—5600	<u>0,1—0,2</u> —
Диорит, гранодиорит, сиенит, аплит	2,5—3,0	(7—80)·10 <sup>2</sup>	2,5—250	<u>0,72—2,5</u> 1—2; 3—8; 1—2	6000—6200	—
Андезит, андезито-базальт, порфирит	2,4—2,9	10 <sup>2</sup> —10 <sup>4</sup>	0—380	<u>1,8—2,5</u> 2,1; 4,0; 2,4	4200	<u>0,05—0,1</u> —
Базальт, диабаз	2,6—2,9	10 <sup>2</sup> —10 <sup>6</sup>	0—380	— <u>0,7—2,3; —; 1,0</u>	6000—6400	—
Кварцевый порфир, дацит, фельзит	2,0—2,9	10 <sup>2</sup> —10 <sup>4</sup>	0—57	<u>1,8—3,58</u> 2—4; 10—19; 2—4	—	—
Туфы кварцевых порфиров	2,3—2,7	(4—15)·10 <sup>3</sup>	13—63	<u>1,8—2,5</u> —	—	<u>0,018</u> —

Кварцит	2,4–3,3	$10^2-10^8$	0–50	— 1,7; 2,2; 0,3	—	— 0,2–0,1
Углисто-глинистые и графитизированные сланцы	2,4–2,8	3–60	126–630	—	—	0,09
Глинистые сланцы	2,5–2,7	$(5-20) \cdot 10$	0	— 4,0; 11,5; 2,7	2200	—
Кварц-серицитовые и кристаллические сланцы, гнейсы	2,4–3,0	$10^2-10^5$	2,5–126	— 2,6; 10,0; 3,1	4500–4900	—
Алевролит, песчаник, аргиллит	2,0–2,9	$(2-20) \cdot 10$	2,5–380	— 3–4; 9–11; 1–3	800–4000	— 0,03–0,16
Пески, суглинки, глины	1,2–2,8	$10-10^3$	25–630	—	300–3000	—
Известняки, доломиты	2,0–2,8	$5 \cdot 10^2-10^6$	0–250	— 1,6; 1,8; 0,3	900–6000	—
Известняки окварцованные, оплавленные	2,9–3,2	$10^4-10^5$	0–2500	—	—	—

<sup>1</sup> В числителе — пределы изменений или средние значения  $I_{\gamma}$  (в Па/кг); в знаменателе — процентное содержание  $U \cdot 10^{-4}$ , Th x  $10^{-1}$ , K.

<sup>2</sup> В числителе — пределы изменений или средние величины пьезоимпульса (в усл. ед.); в знаменателе — пределы изменения пьезомодуля (в фК/Н).

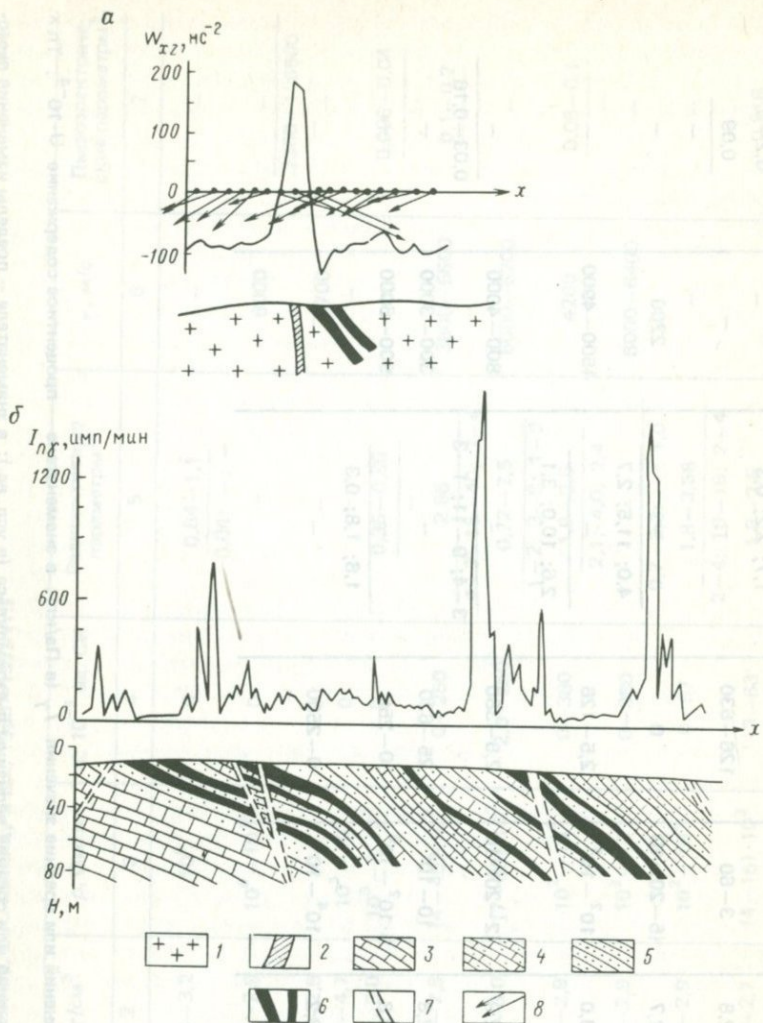


Рис. 44. Результаты геофизических исследований на месторождениях флюорита в Забайкалье.

*а* — данные градиентометрии на месторождении Шахтерском (по В. Сухареву, 1975 г.);  
*б* — данные НАС на участке Моксохон II (по А. Борисову, 1973 г.). 1 — гранит-порфиры; 2 — зона окварцевания; 3 — кристаллические известняки; 4 — известковые песчаники; 5 — песчаники с мергелистыми прослоями; 6 — кварц-флюоритовые рудные тела; 7 — зоны тектонических нарушений; 8 — векторы полного градиента  $\Delta g$

На подстадии общего поиска электро-, грави- и магниторазведка, в ряде случаев и сейсморазведка обеспечивают изучение особенностей геологического строения поисковых площадей и выявление на них призна-

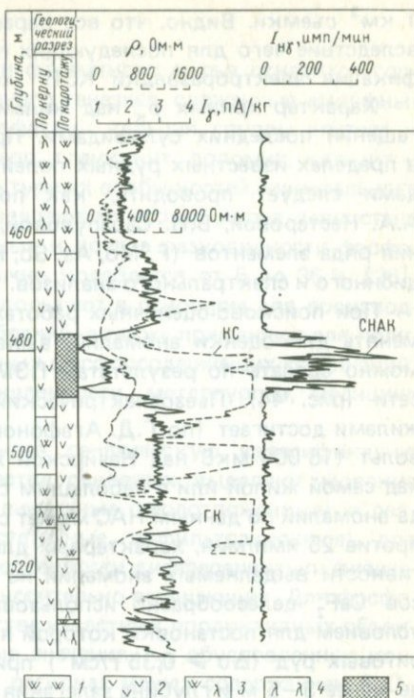
Рис. 45. Результаты ГИС по скв. 27а месторождения Суппаташ в Узбекистане (по А. Костыгину и др., 1977 г.).

1 — вторичные кварциты; 2 — фельзит-порфиры; 3 — сиенито-диориты; 4 — андезито-дацитовые порфиры; 5 — кварц-флюоритовое рудное тело

ков структурного и литологического контроля плавиковошпатового оруденения [5]. Привлечение на данной стадии исследований литогеохимического опробования по вторичным ореолам рассеяния и нейтронно-активационной съемки позволяет оценить перспективность площади на фтор. В некоторых случаях с этой целью могут быть использованы биогеохимический (при мощности рыхлых отложений не более 3—5 м) или же при опоисковании закрытых территорий, гидрогеохимический методы [13, 24, 37].

При детальном опоисковании перспективных участков комплексированием геофизических и геохимических методов решается задача обнаружения и локализации залежей полезного ископаемого. Выявление и прослеживание кварц-флюоритовых жил обычно с успехом выполняется с помощью НАС, интенсивность аномалий которой над флюоритовыми телами обычно на порядок выше фоновых значений [13], а также одной или нескольких модификаций электропрофилеирования (КЭП, СЭП, МСГ, ДЭП). Выбор последних должен быть обоснован количественно оценкой их эффективности по результатам опытно-методических работ.

В частности, такая оценка сравнительной эффективности электроразведки КЭП и ДЭП выполнена для Усуглинского флюоритоносного поля в Читинской области. Детальные поиски проводились здесь установками КЭП при  $AO = OB = 30$  м,  $MN$  и шаге наблюдений, равных 10 м, а электроразведка ДЭП выполнялась установками с  $OO' = 30$  м,  $AB = MN$  и шаге наблюдений 10 м. В качестве параметров сравнительной оценки были приняты следующие: среднее значение показателя контрастности аномалий  $\gamma$ , минимальная ширина выделяемых аномалий  $m$ , геологическая результативность электроразведочных работ  $L = \gamma m$  и экономическая эффективность (рентабельность)  $Y$ . Для КЭП и ДЭП получили соответственно следующие значения параметров:  $\gamma = 0,85$  и  $0,6$  отн. ед.,  $m = 100$  и  $80$  м,  $L = 85$  и  $48$  отн. ед.  $\cdot$  м и  $Y = 9,7$  и  $7,3$  приборосмен на



1 км<sup>2</sup> съёмки. Видно, что все параметры для КЭП выше, чем для ДЭП, вследствие чего для последующих поисковых работ была выбрана модификация электроразведки КЭП (хотя она и требует больших затрат).

Характер кривых  $\rho_k$  над жилами в немалой степени зависит от обогащения последних сульфидами. При поиске слепых залежей флюорита в пределах известных рудных полей в комплексе с геофизическими методами следует проводить, как показано в 1971 г. Г.П. Гапонцевым, А.А. Нестеровой, В.Н. Сарапуловой, изучение первичных ореолов рассеяния ряда элементов (F, Mo, As, Sb, Hg и др.) методами нейтронно-активационного и спектрального анализов.

При поисково-оценочных работах геофизические методы следует применять для оценки аномалий, выявленных поисковыми методами. Это можно сделать по результатам ПЭМ, НАС и градиентометрии по густой сети (рис. 44). Пьезоэлектрический эффект над кварц-флюоритовыми жилами достигает (по Г.Д. Агафонову, 1967 г.) нескольких тысяч микровольт (16 000 мкВ над Начирской жилой в Забайкалье) с максимумом над самой жилой или с небольшим смещением его по падению, а амплитуда аномалий по данным НАС может составлять от 75—100 до 2000 имп/мин против 25 имп/мин, характерных для фона [13, 37]. Для оценки перспективности выделяемых аномалий на фтор и выявления прогнозных запасов  $\text{CaF}_2$  целесообразно использовать градиентометрию, необходимым условием для постановки которой является избыточная плотность флюоритовых руд ( $\Delta\sigma \geq 0,35 \text{ г/см}^3$ ) при мощности гравитирующего объекта не менее 3—5 м и глубине залегания до 10 м. В подобных условиях интенсивность аномалий вторых производных  $\Delta g$  над жилами с флюоритом составляет  $(30—120) \cdot 10^{-9} \text{ с}^{-2}$  и более, а их ширина достигает первых десятков метров. Определенным преимуществом данного метода перед вышеописанными является возможность количественной оценки запасов плавикового шпата по аномалиям  $V_{xz}$  с использованием для этих целей разработанных номограмм [5].

На стадии разведки месторождений флюорита геофизические методы могут применяться для уточнения контуров рудных тел и его флангов, прослеживания тел по падению и простираению, определения качества сырья и подсчета запасов. С этой целью следует использовать ЭП, ПЭМ, градиентометрию с ГРБМ-2 и нейтронно-активационные методы (рис. 45). Экспрессный нейтронно-активационный анализ образцов флюоритовых руд в лабораторных условиях и горных выработках дает значительный экономический эффект и с успехом внедряется в производство. Нейтронно-активационный каротаж на фтор, по точности не уступающий химическому опробованию керна, в комплексе с методами ГК, КС, МСК и др. обеспечивает возможность перехода на бескерновое бурение, что с успехом использовано для подсчета запасов  $\text{CaF}_2$  на Таскайнар-Южном, Науги-скенском, Озолуйском, Агата-Чибаргатинском месторождениях СССР, а также за рубежом [24, 37].

## ФОСФОРИТЫ

К рассматриваемой разновидности фосфатного сырья относятся горные породы преимущественно осадочного генезиса, сложенные аморфными или микрокристаллическими фосфатами кальцыя группы апатита и рядом нефосфатных минералов (кварц, глауконит, доломит, кальцит и др.). В зависимости от текстурно-структурных особенностей, минерального состава, насыщенности фосфатами выделяют микрозернистые, зернистые, желваковые, ракушняковые, массивные и другие разновидности фосфоритов. Содержание  $P_2O_5$  в них обычно колеблется от 5 до 36 % [26]. Фосфориты, так же как и апатит, используют в основном для производства фосфорных и комплексных удобрений, а также применяют для получения элементарного фосфора, различных фосфорсодержащих соединений, используемых в химической промышленности, металлургии, медицине и других отраслях хозяйства.

Многие исследователи, рассматривая генетическую классификацию месторождений фосфоритов, в качестве основных выделяют морские осадочные (платформенные, геосинклинальные, переотложенные) и связанные с корами выветривания (остаточные, инфильтрационные), для которых установлены специфичные особенности дифференциации физических свойств продуктивных пород относительно вмещающих. Для фосфоритов и фосфоритовых руд большинства известных продуктивных объектов наиболее характерны повышенные значения  $I_\gamma$ , обусловленные концентрацией в них урана. В отдельных регионах между содержанием  $P_2O_5$  и величинами  $I_\gamma$  фосфоритов обычно наблюдается прямая корреляционная связь, однако такая связь наблюдается не повсеместно. В целом для фосфоритов характерны повышенное содержание U (Ra), нижекларковая концентрация Th и аномальное (более 1) значение отношения U/Th, успешно используемого в качестве поискового критерия.

Богатые фосфоритовые руды некоторых месторождений иногда отличаются от вмещающих пород и другими свойствами ( $\sigma$ ,  $\kappa$ ,  $\nu$ ,  $\rho$ ), которые не всегда достаточно информативны для разделения по ним названных образований. Особенности изменения физических свойств и обусловливаемой ими методики геофизических исследований рассматриваются ниже для выделенных А.С. Михайловым и др. (1977 г.) отдельных типов (групп) продуктивных пород и руд в зависимости от их литолого-фациального состава и структурно-формационной приуроченности.

Микрозернистые фосфориты и фосфоритовые руды, связанные с кремнисто-карбонатной формацией, характеризуются относительно высокими содержаниями урана, а следовательно, и повышенными значениями  $I_\gamma$ . В фосфоритах Скалистых гор и формации "Фосфория" штатов Айдахо и Юта (США) содержание эквивалентного урана изменяется от 0,001 до 0,15 %, причем основная его часть связана с высококачественными фосфоритами, вследствие чего корреляционная связь между содержаниями  $P_2O_5$  и U обычно проявляется только при повышенных содержаниях последнего [34]. Продуктивные образования большинства фосфоритоносных бассейнов характеризуются повышенными величинами  $I_\gamma$ : 1,15 —

1,65; 1,3–1,7 и 1,8–2,5 пА/кг соответственно в Хубсугульском, Удско-Селемджинском и Каратауском бассейнах при  $\gamma$ -активности вмещающих пород не более 0,43–0,72 пА/кг. Тесные корреляционные связи ( $r$  до 0,9 и выше) отмечаются в этих и ряде других бассейнов между содержанием  $P_2O_5$  и общей радиоактивностью фосфоритов, а также между концентрациями урана и фосфора (О.В. Иванов, 1967 г., и др.).

Природа  $\gamma$ -активности микрозернистых фосфоритовых руд преимущественно урановая (ураново-радиевая) при незначительном, как правило, вкладе в их общую  $\gamma$ -активность Th и K. Так, для фосфоритов бассейна Каратау  $\gamma$ -излучение Th составляет не более 1% от излучения U, а K присутствует в таких количествах, что его доля в общей  $\gamma$ -активности не более 3–7%. В ряде бассейнов (Каратауском, Актюбинском и др.) установлены достаточно тесные корреляционные связи ( $r$  до 0,98) между содержаниями F и  $P_2O_5$ , что нередко позволяет выполнять индикацию  $P_2O_5$  через F более эффективно и надежно, чем решать эту задачу традиционными радиометрическими методами на основе связей между содержаниями P, U и общей радиоактивностью [37].

Заметная дифференциация микрозернистых фосфоритовых руд и вмещающих пород по  $\kappa$ ,  $\sigma$ ,  $\nu$  и  $\rho$  не установлена. Отмечены повышенные значения  $\eta$  у некоторых разностей продуктивных образований Боксонского и Ухагольского месторождений (Бурятия). "Светлые" фосфориты и ряд вмещающих пород являются слабополяризующимися образованиями, а "темные" фосфориты имеют повышенные значения  $\eta_{\kappa} = 0,3–21\%$  на Боксонском месторождении и 0,1–37,5% на Ухагольском (при фоне около 5%). Характерные здесь для фосфоритов значения  $\eta_{\kappa}$  соразмерны с величинами  $\eta_{\kappa}$  (0,1–34,2 и реже до 60%) у углисто-глинистых, нередко графитизированных и пиритизированных сланцев и некоторых "темных" карбонатных пород фосфоритосодержащих горизонтов. Эти породы с относительно высокими значениями  $\eta_{\kappa}$  нередко имеют повышенные величины электрохимической активности (сотни милливольт) и электропроводности [9].

Зернистые фосфориты и фосфоритовые руды, связанные с терригенно-кремнисто-карбонатной формацией, как правило, заметно отличаются по значениям  $I_{\gamma}$ . При этом фосфориты, залегающие на внешних и внутренних склонах краевых прогибов, характеризуются, как показано в 1974 г. Г.Я. Островской, пониженными концентрациями U, а фосфориты формаций, развивавшихся в пределах молодых платформ, как правило, более ураноносны. Рассматриваемые продуктивные образования в Южно-Таджикской депрессии и в некоторых других районах Средней Азии имеют величины  $I_{\gamma}$  около 1,14–1,43 пА/кг при  $\gamma$ -активности вмещающих образований карбонатного и песчано-алевритового состава соответственно 0,43–0,71 и 0,86–1,14 пА/кг. Другие физические свойства зернистых фосфоритов изучены недостаточно полно.

Фосфориты и фосфоритовые руды желвакового, а отчасти и ракушнякового типа, связанные с формациями терригенной группы, в основном характеризуются урановой природой радиоактивности. В Прибалтийско-Ладожском бассейне  $\gamma$ -активность оболочевой толщи, с которой связаны

ракушняковые и зернисто-ракушняковые руды, изменяется, как отметила в 1957 г. Л.Б. Сочеванова, от 0,71—1,43 до 2,9—3,6 пА/кг при  $\gamma$ -активности подстилающих кварцевых песчаников и известняков до 3,6 пА/кг. Более высокую  $\gamma$ -активность (5,7—9,3 пА/кг) имеют здесь (и особенно в Эстонии) диктионемовые сланцы, перекрывающие фосфоритоносные горизонты, вследствие чего подошва и кровля продуктивной толщи отмечаются на диаграммах ГК четкими увеличениями  $\gamma$ -активности. Природа  $\gamma$ -активности фосфоритовых отложений преимущественно урановая при содержании Th, близком к кларковому [18].

Параметры  $\sigma$ ,  $k$ ,  $\rho$  и  $\nu$  у желваковых и ракушняковых фосфоритов, а также их дифференцированность относительно вмещающих пород изучены недостаточно полно. Детально исследованы некоторые из отмеченных параметров на месторождениях желваковых фосфоритов Белоруссии (Лобковичи, Мстиславль). Здесь установлено (данные И.А. Зыкова, 1977 г.), что  $\sigma$  фосфоритоносных желваков (2,6—2,8 г/см<sup>3</sup>) заметно выше, чем  $\sigma$  вмещающих глауконитокварцевых песков (1,4—1,65 г/см<sup>3</sup>). В зависимости от содержания желваков в фосфоритовых слоях  $\sigma$  последних варьирует от 1,5 до 2,5 г/см<sup>3</sup>. На данных месторождениях установлена также корреляционная связь между плотностью продуктивных пород и содержанием в них P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. По сравнению с глауконитокварцевыми песками (нередко обводненными) желваки белорусских фосфоритов характеризуются более высокими значениями  $\rho$  и содержания F.

Фосфориты и фосфоритовые руды формации коры выветривания в большинстве случаев имеют повышенную  $\gamma$ -активность, преимущественно урановй природы, причем они нередко обогащены U в 5—20 раз более, чем первичные фосфориты. Повышенная  $\gamma$ -активность их связана не только с вторичными фосфатными образованиями, но и с марганцовистыми и железистыми продуктами выветривания. Относительно вмещающих пород фосфориты и фосфоритовые руды рассматриваемого типа в Алтае-Саянской области отмечаются аномалиями до 2,15—3,6 пА/кг, а в карстовых полостях и до 21,5—29,0 пА/кг при фоне 0,29—0,7 пА/кг. В некоторых районах (штат Теннесси и др.) фосфориты формации коры выветривания характеризуются и нормальными величинами  $\gamma$ -активности, в связи с чем целесообразно разработать методику выявления этих фосфоритов геофизическими методами по образующимся вокруг них вторичным ореолам рассеяния фосфора.

На ряде фосфоритовых месторождений (Обладжанском, Тамалыкском и др.) между содержаниями U и P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> наблюдается прямая корреляция, но на некоторых других месторождениях (Телекском, Корасынском и др.) она проявляется слабо или отсутствует. Отмечаемое в ряде случаев уменьшение концентрации Th в фосфоритовых рудах коры выветривания благоприятствует их поиску по результатам гамма-спектрометрических съемок с использованием отношения U/Th.

Продуктивные образования кор выветривания, включая карбонатные и кремнисто-карбонатные фосфоритоносные толщи Алтае-Саянской области, наряду с повышенной  $\gamma$ -активностью нередко имеют пониженные значения  $k$  и  $I_r$  (соответственно  $3,8 \cdot 10^{-5}$  ед. СИ и 15 мА/м), повышенные

величины  $\rho$  первичных и пониженные значения  $\rho$  вторичных фосфоритовых руд. Фосфоритовые руды характеризуются здесь обычно несколько повышенными величинами  $\sigma$  (до 2,67—2,82 г/см<sup>3</sup>).

В пределах Кузнецкого Алатау и Горной Шории значения  $\rho$  фосфоритовых руд формации коры выветривания в среднем составляют 300—400 Ом·м, изменяясь, например, на Белкинском месторождении от 100 до 700 Ом·м. Сопротивление вмещающих карбонатных толщ варьирует в зависимости от степени их доломитизации, графитизации и пиритизации от сотен до тысячи и более ом-метров. Сланцы характеризуются величинами  $\rho$  примерно 250—300 Ом·м, кварциты — более 500—600 Ом·м. Рыхлые фосфатоносные продукты выветривания, заполняющие карстовые полости, отмечаются значительными изменениями проводимости пород, а зачастую имеют и повышенные значения  $k$ .

Залежи фосфоритов как объекты геофизических исследований следует аппроксимировать ФГМ в виде пластообразных тел различной мощности и элементов залегания, для которых в большинстве случаев характерны ореолы рассеяния фосфора, повышенные значения естественной  $\gamma$ -активности, а также контрастность после нейтронной активации. В ряде случаев богатые фосфоритовые руды отличаются от вмещающих пород плотностью, магнитными и упругими свойствами, электропроводностью, поляризуемостью, однако соответствующая дифференцированность не является повсеместной и отчетливо выраженной. В связи с отмеченными обстоятельствами при поиске и разведке месторождений фосфоритов (в частности, наиболее ценных — зернистых и микрозернистых) оправдано комплексирование радиометрических исследований (в первую очередь гамма-спектрометрических), высокоточных грави- и магнитометрических съемок, определенных объемов сейсмо- и электроразведочных работ, нейтронно-активационной и литогеохимической съемок с различными модификациями ГИС методами электро- и радиоактивного каротажа (см. табл. 2). В каждом регионе рациональный комплекс геофизических исследований должен конкретизироваться в зависимости от особенностей геологического строения, физических свойств пород разреза, характера решаемых задач.

Особенности геологического строения продуктивных толщ, литолого-фациального состава и формационной принадлежности продуктивных и вмещающих пород, характер дифференцированности последних по физическим свойствам, в первую очередь по  $\gamma$ -активности, определяют некоторое своеобразие методики геофизических исследований, их комплексирования между собой и с геолого-геохимическими методами применительно к отдельным стадиям геологоразведочных работ и месторождениям основных разновидностей фосфоритовых руд (см. табл. 2). О геологической результативности геофизических исследований свидетельствует, в частности, выявление по их данным Тастыкольского (Казахстан), Симского (Урал), Телекского (Восточные Саяны) месторождений, ряда фосфоритоносных площадей и проявлений (Горная Шория, Бурятия и др.).

При поиске месторождений фосфоритов геофизические методы рекомендуются применять для выявления площадей развития фосфоритонос-

ных образований и в их пределах отдельных залежей (тел) фосфоритов, а также для решения задач, связанных с изучением особенностей геологического строения площадей поисковых работ (см. табл. 2). Методики соответствующих геофизических исследований определяются характером геологического строения поисковых площадей, особенностями дифференциации на них по физическим параметрам продуктивных и вмещающих пород и некоторыми другими факторами, а также зависят от типа фосфоритового оруденения, масштабности и детальности работ на отдельных поисковых подстадиях.

Методы общей геофизики необходимо применять для изучения геологического строения площадей поисковых работ (см. табл. 2). Так, на Ухаловском месторождении микрозернистых фосфоритов магнито- и электроразведка (СЭП, ДЭП, МСГ, ВП, ЕП) использованы для геологического картирования и выделения среди достаточного высокоомных терригенно-карбонатных пород фосфоритоносных песчаников, повышенная проводимость которых обусловлена присутствием углистого материала и пирита. При поиске месторождений микрозернистых и вторичных фосфоритов в Горной Шории, Кузнецком Алатау и других регионах комплексом методов общей геофизики решался ряд геологических задач. По данным магниторазведки, например, уточнялись особенности геологического строения поисковых площадей, картировались эффузивные и интрузивные комплексы пород. Среди практически немагнитных, в разной степени фосфатизированных карбонатов, эффузивные, эффузивно-осадочные и интрузивные породы отмечаются аномалиями геомагнитного поля интенсивностью от сотен до тысяч миллиампер на метр. На некоторых участках Горной Шории магниторазведкой оконтурены площади развития рудовмещающих карбонатных пород, выделяющихся слабоинтенсивными (80—400 мА/м) отрицательными или близкими к нулю значениями геомагнитного поля. Более надежно оконтуривают толщи этих пород по результатам комплексной интерпретации материалов магнито- и гравиразведки.

На Белоусинском участке Кузнецкого Алатау электроразведка (ВЭЗ, СЭП) применялась для расчленения разрезов различных комплексов пород, среди которых фосфоритоносные глины обычно связаны с зонами пониженных значений  $\rho_k$ . Сопротивления фосфатоносных карбонатов и вмещающих доломитизированных пород Белкинского месторождения близки между собой (около 250 Ом·м) и заметно отличаются от сопротивления контактирующих с ними монолитных известняков (1100—1200 Ом·м), вследствие чего электроразведка ДЭП по сети (10—20) × (50—200) м использована здесь для картирования продуктивных образований на контакте доломитовой и известняковой толщ. Пониженными значениями  $\rho_k$  отмечены зоны закарстованности, трещиноватости, доломитизации, графитизации эффузивно-осадочных отложений и повышенной мощности рыхлых отложений [34].

На Белкинском месторождении для оконтуривания продуктивных на фосфоритовые руды карстовых полостей применялась электроразведка СЭП по сети (20—25) × (50—100) м. Такие полости в ряде случаев вы-

делены зонами пониженных величин  $\rho_k$  (50—500 Ом·м) на фоне значений  $\rho_k$  800—3000 Ом·м над коренными породами. По данным ВЭЗ на Обладжанском месторождении установлены зоны пониженных значений  $\rho_k$ , соответствующие площадям интенсивной закарстованности карбонатных пород и нередко контролирующие залежи вторичных фосфоритовых руд. Некоторые разновидности продуктивных образований этого месторождения характеризуются повышенными значениями  $k$ , что позволило использовать детальную и высокоточную ( $\pm 3,2$  мА/м) магниторазведку по сети 10×20 м для поиска карстовых полостей, выкопанных фосфатоносными образованиями. Аномальные зоны  $\Delta Z$  над "продуктивными карстами" обычно совпадают здесь с участками пониженных значений  $\rho_k$ .

Выявление площадей развития фосфоритоносных образований, а также поиск и оконтуривание в их пределах продуктивных залежей, тел, толщ и горизонтов в основном рекомендуется выполнять аэро- и наземными радиометрическими съемками, в том числе гамма-спектрометрической. Для решения этих же задач необходимо привлекать литогеохимическую и нейтронно-активационную съемки и ГИС методами РК. Такой комплекс геофизических и геохимических исследований успешно использован в СССР и за рубежом для поиска месторождений фосфоритов различной формационной принадлежности [23, 34].

Радиометрические съемки, особенно при общем поиске, целесообразно выполнять преимущественно как гамма-спектрометрические и в аэро-варианте, позволяющем в сравнительно короткие сроки изучать обширные и труднодоступные районы и существенно повышать производительность и эффективность поисковых работ. Геологическая результативность радиометрических съемок, в том числе и в аэро-варианте, зависит от степени  $\gamma$ -активности продуктивных образований, размеров их залежей, мощности и состава покровных отложений, характера ореолов рассеяния и других факторов.

Преимущественно урановая природа  $\gamma$ -активности фосфоритов и фосфоритовых руд обуславливает повышенную информативность и представительность гамма-спектрометрической модификации радиометрических съемок. По данным ГСС продуктивных образований и их залежи в большинстве случаев выделяются величинами отношения  $U/Th > 1$ . Для разбраковки гамма-спектрометрических аномалий значение этого отношения необходимо уточнять для конкретных районов поисковых работ. Методы АГСС и НГСС, так же как и аэро- и наземные варианты радиометрических съемок, независимо от стадийности, задач поисковых работ, изученности, доступности и геоморфологии поисковых площадей рекомендуется выполнять преимущественно в площадном варианте. Маршрутные исследования проводят по гидрографической сети и вдоль дорог, прокладывая маршруты преимущественно вкост господствующего простирания пород и структур опоисковываемого района.

На потенциально фосфоритоносных площадях Красноярского края, Горной Шории, Бурятии и Дальнего Востока выполнены АГСС по данным которых выявлено и рекомендовано для детального опоисковывания значи-

тельное число перспективных площадей. Основные методические вопросы АГСС разработаны, в связи с чем здесь они не затрагиваются.

По сравнению с ГСС несколько меньшей информативностью обладает в ряде случаев радиометрическая съемка, фиксирующая продуктивные образования аномалиями суммарно повышенной  $\gamma$ -активности. Производительность аэровариантов радиометрической и ГС съемок одинакова, но наземная радиометрическая съемка менее трудоемка, чем гамма-спектрометрическая съемка. По этой причине радиометрическую съемку в авто- и пешеходном вариантах допустимо применять на всех подстадиях поисковых работ на фосфориты.

По результатам радиометрических съемок продуктивные тела, толщи, горизонты, фосфоритоносные породы в коренном залегании, открытые и вторичные ореолы рассеяния радиоактивных элементов, как правило, отмечаются повышенными значениями  $\gamma$ -активности (Белкинское месторождение, например, отмечено при аэrorадиометрической съемке аномалией интенсивностью до 0,86 пА/кг). В пределах развития фосфоритоносных образований аномалии  $\gamma$ -активности являются прямыми поисковыми признаками наличия продуктивных толщ и горизонтов.

Наземные варианты радиометрической съемки успешно использованы во многих регионах СССР для поиска фосфоритов различной формационной принадлежности, особенно микрозернистых и связанных с формацией коры выветривания. В Горной Шории, например, продуктивные толщи отмечаются аномалиями  $\gamma$ -активности интенсивностью от 0,6–0,7 пА/кг до первых десятков пикоампер на килограмм при фоновых значениях 0,3–57 пА/кг и пониженных значениях (0,3–0,35 пА/кг) над эффузивными, эффузивно-осадочными породами, интрузиями основного и среднего состава. Интрузивные же тела кислого и щелочного состава, как правило, отмечаются повышенной  $\gamma$ -активностью. По сравнению с первичными фосфоритами и их рудами фосфоритоносные образования коры выветривания нередко отмечаются повышенной  $\gamma$ -активностью (1,43–3,58 пА/кг) при фоновых значениях над вмещающими породами около 0,35–0,43 пА/кг. Рыхлые отложения мощностью более 3–5 м обычно вызывают заметное уменьшение интенсивности радиометрических аномалий над фосфоритовыми залежами.

В ряде случаев несколько большую глубинность имеет эманационная съемка, отмечающая фосфоритоносные отложения с содержанием  $P_2O_5 > 1-2\%$  аномалиями преимущественно радоновой природы интенсивностью  $(111-185) \cdot 10^3$  Бк/м<sup>3</sup>, реже  $(277-315) \cdot 10^3$  Бк/м<sup>3</sup> при фоновых значениях примерно  $(15-37) \cdot 10^3$  Бк/м<sup>3</sup>. Продуктивные образования, связанные с формацией коры выветривания, фиксируются несколько большими значениями эманометрических (эманационных) аномалий, чем первичные фосфатноносные отложения. Чувствительность эманационной съемки выше, чем чувствительность радиометрической, однако контрастность, коррелируемость и воспроизводимость эманометрических аномалий, интенсивность которых в немалой степени определяется мощностью и составом рыхлых отложений, обычно ниже, чем радиометрических. По этой причине эманационную съемку в большинстве случаев целесообразно заменять гамма-спектрометрической.

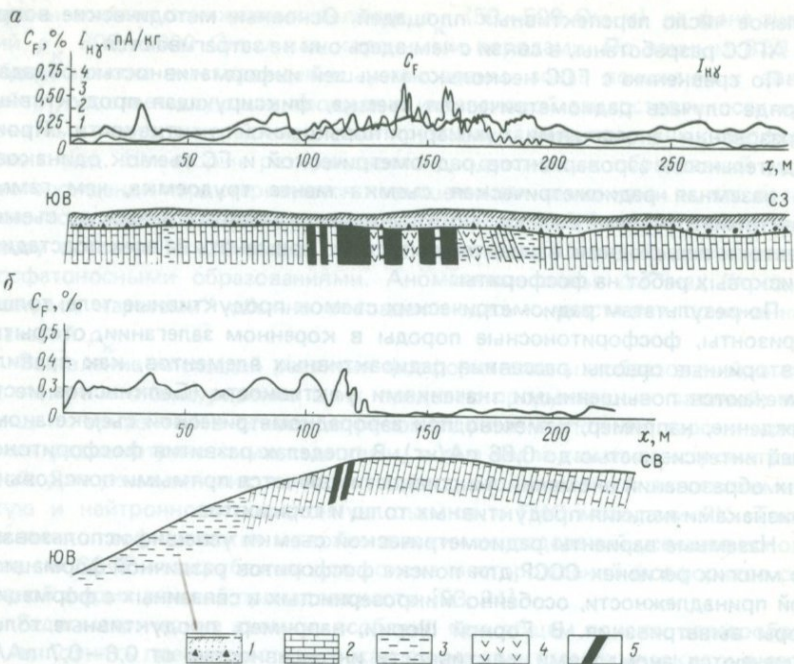


Рис. 46. Графики содержания фтора ( $C_F$ ) в рыхлых отложениях по данным НАС на месторождениях фосфоритовых руд:

а — Поперечное, б — Каратаг (по А.Н. Горбачеву и др., 1972 г.). 1 — почвенно-растительный слой; породы: 2 — карбонатные, 3 — терригенные; 4 — эффузивы; 5 — фосфориты

Для выявления фосфоритоносных образований и продуктивных толщ, особенно с пониженной радиоактивностью, целесообразно применять и нейтронно-активационную съемку [13]. Последняя, в частности, успешно проведена при поиске залежей зернистых фосфоритов на южных склонах Гиссарского хребта. Фосфоритовые руды приурочены здесь к терригенно-карбонатным породам палеогена и по данным НАС фиксируются аномальными содержаниями F (до 0,4 %) в делювии (рис. 46). Маломощные пласты фосфоритовых руд в этом районе нередко обнажаются на крутых склонах и ореолы рассеяния F смещаются вдоль них на десятки и первые сотни метров. На Ухагольском месторождении НАС выявлены фторметрические аномалии, приуроченность ряда которых к фосфоритоносным комплексам пород подтверждена горными работами. Тесные корреляционные связи между содержаниями  $P_2O_5$  и  $F_2$  установлены для продуктивных образований и руд различной формационной принадлежности, что позволяет рекомендовать НАС для поиска месторождений фосфоритов различных генетических типов.

При выявлении фосфоритоносных образований и продуктивных толщ

радиометрические съемки целесообразно комплексировать с литогеохимической. Последняя успешно применена, в частности, при поиске залежей микрзернистых фосфоритов и фосфоритов формации коры выветривания. Литогеохимическую съемку в большинстве случаев целесообразно проводить по сети  $(10-50) \times 500$  м с отбором проб из закопшек глубиной 0,2—0,3 м. Участки выходов фосфоритоносных образований нередко оконтуриваются изолиниями повышенных концентраций Р (0,3—1,1 %) при фоновых содержаниях его в поверхностных отложениях около 0,1 %. Например, в Горной Шории на площадях развития фосфатных пород с содержанием  $P_2O_5$  порядка первых процентов концентрация Р во вторичных ореолах в ряде случаев достигает 0,1—0,3 %. На участках развития фосфоритов с содержанием  $P_2O_5 > 5$  % концентрация Р во вторичных ореолах колеблется от 0,3 до 10 % при фоновых содержаниях около 0,03 %.

Для поиска и оконтуривания залежей фосфоритов в некоторых случаях целесообразно применять и методы общей геофизики (см. табл. 2). Работами ВНИИгеолнеруда на фосфоритовых месторождениях Казахстана (Каратау, Актюбинская обл.) показана возможность выявления продуктивных тел и пластов сейсморазведкой в модификации ССП-МПВ. На Ухагольском и Босконском месторождениях для выявления и оконтуривания продуктивных залежей привлекались методы ВП и ЕП [9]. Электро- и гравиразведку наиболее целесообразно использовать при поиске залежей фосфоритов формации коры выветривания.

При предварительной и детальной разведке месторождений фосфоритов, независимо от их формационной принадлежности, геофизические методы необходимо применять для решения различных задач (см. табл. 2), связанных с выяснением особенностей геологического строения месторождений и отдельных их участков, а также для изучения на них собственно фосфоритового оруденения. В таких целях на месторождениях и над их продуктивными толщами необходимо проводить исследования преимущественно методами общей геофизики (см. табл. 2) с уточнением детальности, точности работ отдельными методами (модификациями), их комплексирования между собой и с геологическими исследованиями в зависимости от степени геолого-геофизической изученности месторождений, размеров и морфологии продуктивных толщ, характера дифференцированности продуктивных и вмещающих пород по физическим свойствам и т.д. Крупномасштабные наземные работы различными методами общей геофизики обеспечивают определение элементов залегания продуктивных тел, вмещающих комплексов пород, картирование интрузивных образований (преимущественно на месторождениях фосфоритов микрзернистых и коры выветривания), зон тектонических нарушений и погребенных карстовых форм (на месторождениях отмеченной формационной принадлежности, а также ракушнякового типа руд). Для решения названных задач целесообразно использовать ранее рекомендованные поисковые геофизические комплексы, соблюдая при этом необходимое повышение детальности и точности исследований. Для уточнения результатов исследований методами общей геофизики следует в обязательном порядке

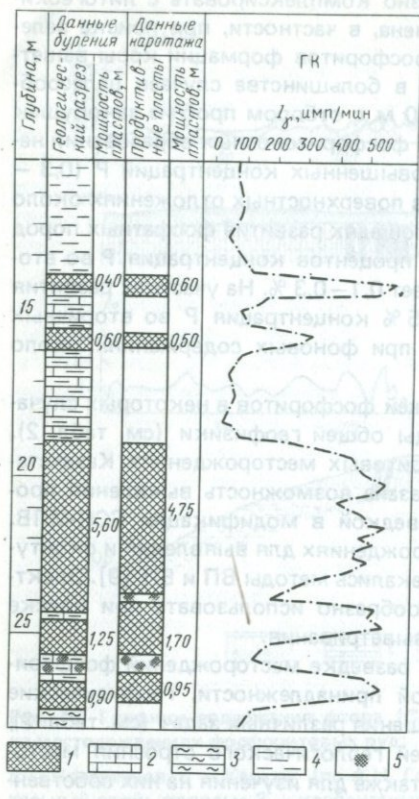


Рис. 47. Результаты бурения и ГИС (ГК) в продуктивной толще месторождений Кнейфис в Сирии (по В.И. Покрышкину, 1970 г.).

1 — зернистые фосфориты ( $19,4 < P_2O_5 < 34,6\%$ ); 2 — глинистые известняки; 3 — кремнистые породы; 4 — глины; 5 — фосфатные породы

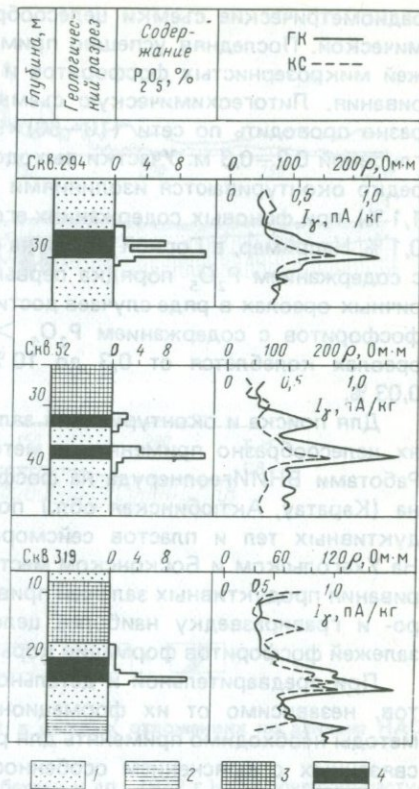


Рис. 48. Результаты ГИС в скважинах фосфоритовых месторождений Белоруссии (по И.А. Зыкову, 1977 г.).

1 — песок; 2 — глина; 3 — мел; 4 — фосфориты

использовать данные наземных и скважинных радиометрических и ядерно-геофизических исследований, а также литогеохимической съемки.

Для решения задач, связанных с расчленением геологических разрезов, выделением фосфоритовых горизонтов, определением элементов их залегания, содержания  $P_2O_5$  и ряда других ингредиентов в продуктивных горизонтах (пластах), оценкой качества руд и подсчетом запасов, необходимо проводить ГИС различными модификациями РК и ЭК (рис. 47, 48). При этом наиболее целесообразно применять стандартный комплекс методов (ГК, КС, ПС, Кав.), дополняя его в ряде случаев такими модификациями РК и ЭК, как СГК, ГГК, НАК, БМК. В Белоруссии (месторождения

Лобковичи и Мстиславль) продуктивные пласты (слои) желваковых фосфоритов достаточно однозначно выделяются по диаграммам ГК, если их  $\gamma$ -активность больше 1,07–1,43 пА/кг, т.е. выше уровня  $\gamma$ -активности глин и в 1,5–2 раза больше  $\gamma$ -активности глауконито-кварцевых песков [18]. Здесь же продуктивные пласты обычно фиксируются и повышенными значениями  $\rho_K$  на диаграммах КС (рис. 48), в то время как нефосфоритоносные горизонты с повышенной  $\gamma$ -активностью, как правило, отмечаются пониженными величинами  $\rho_K$ .

Для количественной оценки содержания  $P_2O_5$  по диаграммам ГК рекомендуется использовать экспериментально устанавливаемые в регионе (на месторождении) для различных диаметров скважин зависимости между площадью гамма-аномалий, мощностью продуктивных пластов и содержанием в них  $P_2O_5$  с введением в данные ГК необходимых поправок за скорость перемещения зонда, постоянную времени счетчика и др. Для подсчета запасов необходимо использовать экспериментальные зависимости плотности продуктивных образований от содержания в них  $P_2O_5$ .

Методы ГК и гамма-опробования канав, шпуров, шурфов, обнажений фиксируют повышенные значения суммарной естественной  $\gamma$ -активности, по которым выделяют рудные интервалы, расчленяют и коррелируют геологические разрезы, определяют положение контактов пород, содержание в них  $P_2O_5$  и оценивают запасы продуктивных толщ. Эти методы позволяют решать отмеченные задачи с достаточной точностью (до 5–10 %) и чувствительностью (0,5–1 %), определяя содержание  $P_2O_5$  в шпурах, скважинах, бороздовых пробах, а при использовании некоторых других модификаций гамма-опробования — также и в технологических линиях с фосфоритовой рудой. Радиометрическим опробованием на месторождениях Аксай, Джанытас и Чулак-Тау установлено [41], что между содержанием  $P_2O_5$  в фосфоритах и их  $\gamma$ -активностью существует линейная связь с коэффициентом корреляции около 0,8, обеспечивающая определение концентраций  $P_2O_5$  в естественном залегании с точностью порядка 5–8 %. Целесообразно более широко применять радиометрические методы при разведке тех месторождений, на которых наблюдается тесная корреляционная связь ( $r$  не менее 0,7–0,8) между содержанием  $P_2O_5$  в фосфоритах и интенсивностью суммарной естественной  $\gamma$ -активности.

В ряде случаев выделение продуктивных пластов стандартным комплексом ГИС затруднено из-за их малой мощности, незначительной  $\gamma$ -активности, низкого содержания  $P_2O_5$  и слабой связи между общей  $\gamma$ -активностью и содержанием  $P_2O_5$ . При этом в используемый комплекс необходимо включать ядерно-геофизические модификации ГИС, в первую очередь СГК, основные методические особенности выполнения которого регламентированы. При проведении СГК и интерпретации получаемых результатов необходимо учитывать, что  $\gamma$ -активность фосфоритов преимущественно обусловлена содержанием в них U (Ra), а вмещающих глинистых образований — содержанием Th и K.

Для ряда месторождений установлена тесная корреляционная связь между содержаниями  $P_2O_5$  и U (Ra), в связи с чем мерой содержания  $P_2O_5$  принята урановая (радиевая) составляющая суммарной естественной

$\gamma$ -активности. Выполняют СГК трехканальными анализаторами  $\gamma$ -излучения в U (Ra), Th и K частях спектра с последующим вычислением урановой (радиевой) составляющей. Из-за ограниченности скорости счета импульсов обычно проводят точечный СГК с шагом 10—20 см, однако в случае маломощных продуктивных пластов для повышения представительности измерений целесообразно проводить и непрерывный СГК. Для некоторых месторождений фосфоритов влияние Th и K можно компенсировать повышением статистической точности измерений и исключением погрешностей, обусловленных расчетами гамма-спектрометрических составляющих. Применение СГК для опробования содержания  $P_2O_5$  в фосфоритовых рудах рекомендуется независимо от их формационной принадлежности. Так, СГК успешно проводится при разведке месторождений микрозернистых фосфоритов (Кок-Су и др. в бассейне Каратау, группа Удско-Селемджинских), ракушняковых (Маарду, Кингисеппское), желваковых (Егорьевское). Особого внимания заслуживает опыт применения на последнем комплексе методов РК для определения условий залегания продуктивных пластов и содержания в них  $P_2O_5$  с подсчетом сырьевых запасов, которые приняты ГКЗ СССР как вполне достоверные.

Тесные корреляционные связи между содержанием  $P_2O_5$  в фосфоритах, их суммарной естественной  $\gamma$ -активностью и урановой (радиевой) составляющей наблюдаются не всегда. В связи с этим и с учетом обычно достаточно четкой связи ( $r$  до 0,98) между содержаниями  $P_2O_5$  и  $F_2$ , в ряде случаев для определения содержания  $P_2O_5$  необходимо использовать НАК и различные виды нейтронно-активационных исследований в шурфах, на обнажениях и в лабораторных условиях. Метод НАК- $^{16}N$  по реакции  $^{19}F(n, \alpha)^{16}N$  позволяет определять содержание  $F_2$  в фосфоритах с чувствительностью около 0,07 % при непрерывных измерениях и 0,02—0,05 % при дискретно-точечных с достижением при этом точности, близкой к результатам химического анализа. На основе связи между P и  $F_2$  непосредственно находят содержание  $P_2O_5$ , что в ряде случаев выполняется эффективнее и надежнее, чем методами ГК и СГК. Расхождения между результатами дискретных химических анализов и непрерывного (точечного) нейтронно-активационного определения содержаний P обычно составляют не более 1 % [37]. Результаты НАК- $^{16}N$  на месторождениях Каратауского бассейна (Джанытас, Аксай, Кок-Су, Тьесай и др.) показали применимость метода для выделения продуктивных интервалов, определения их мощности, глубин залегания, оценки содержания  $P_2O_5$  (с расхождением относительно результатов химического анализа не более 3—8 %) и подсчета запасов. Аналогичные результаты получены на месторождениях Горной Шории, Актюбинского Приуралья и других регионов.

Актуальной задачей разведки месторождений фосфоритов является определение содержания в породах и рудах не только  $P_2O_5$ , но и ряда других ингредиентов. С этой целью широко и успешно используют тесные корреляционные связи между ними, устанавливаемые различными видами ядерно-геофизических исследований. Для определения содержания  $P_2O_5$ , а также  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$  и нерастворимого остатка (н.о.) в комплекс ГИС включают НАК- $^{28}Al$ . Последний при корреляционной связи в рудах K

и Al заменяют SGK по калию, а при значительной пористости продуктивных пород — ННК.

Содержание СаО, СО<sub>2</sub>, MgO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и некоторых других ингредиентов в рудах нередко успешно определяют методами РК с помощью соответствующих корреляционных зависимостей. Основываясь на последних, в каждом конкретном регионе (а в ряде случаев на отдельных месторождениях) целесообразно подбирать оптимальный комплекс ядерно-геофизических и электрических методов ГИС, обеспечивающий наиболее простую, экономичную и достоверную оценку качества руд. Так, применительно к месторождениям Каратау, Актюбинского Приуралья, Горной Шории и Восточных Саян используют комплекс ГИС, включающий в себя НАК-<sup>16</sup>N и НАК-<sup>28</sup>Al, SGK, ГГК, ННК, КС и Кав., обеспечивающий получение полной характеристики состава фосфоритовых руд (содержание Р<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и других компонентов) с точностью, не уступающей данным химического анализа.

Методы ядерно-геофизического анализа фосфоритовых руд внедрены в геологоразведочную практику на ряде месторождений. Эти методы экспрессны, относительно просты, обеспечивают необходимую представительность геофизического опробования, а в ряде случаев дают и существенную экономическую эффективность. Так, внедрение ядерно-геофизических методов на фосфоритовых (Каратау) и апатитовых (Хибины) месторождениях обеспечивает годовую экономию около 500 тыс. руб. Внедрение радиоактивного каротажа для определения содержания Р<sub>2</sub>O<sub>5</sub> на Новоселовском и других участках Егорьевского месторождения и гамма-спектрометрического прибора на комбинате "Фосфорит" позволяет экономить в год не менее 3,6—12 и 84 тыс. руб. соответственно. В ряде случаев экономически рентабельно определять содержание Р<sub>2</sub>O<sub>5</sub> в породах и в отобранных из них представительных пробах также и гамма-спектрометрическим методом.

## ШУНГИТСОДЕРЖАЩИЕ ПОРОДЫ

Шунгитсодержащие породы являются углеродсодержащими отложениями преимущественно силикатной основы. По содержанию в них углерода сотрудиники Института геологии Карельского филиала АН СССР выделяют пять (I—V) разновидностей с концентрацией соответственно более 80; 35—80; 20—35; 10—20 и менее 10 %. Наибольший промышленный интерес представляют малозольные шунгитовые породы (более 20 % С), используемые в качестве заменителя графита, наполнителя кислотоупоров, ферросплавов, пигмента, а также многозольные породы (0,5—2 % С), являющиеся сырьем для производства шунгизита (легкого заполнителя бетона). Продуктивные толщи в большинстве случаев представляют собой пласты мощностью единицы и десятки метров.

По физическим свойствам рассматриваемые породы отличаются от вмещающих образований, а отдельные их разновидности дифференцированы и между собой. В 1974 г. Ю.К. Калинин и В.И. Тяганова показали, что у малозольных шунгитовых пород  $\rho$  изменяется в среднем от  $20 \cdot 10^{-4}$

до 3 Ом·м и имеет обратную корреляционную зависимость от содержания углерода. Более высокие значения  $\rho$  (сотни и тысячи ом-метров) имеют многозольные шунгитсодержащие породы, для которых, так же как и для малозольных, характерна способность создавать вокруг себя естественные электрические поля.

Плотность малозольных шунгитовых пород в значительной степени определяется содержанием углерода в них [36]. Так, например, на месторождении Загогино (Карелия)  $\sigma_{\text{ср}}$  продуктивных пород I—V разновидностей равна 1,90; 2,00; 2,20; 2,40 и 2,58 г/см<sup>3</sup> соответственно. Вмещающие диабазы имеют  $\sigma_{\text{ср}} = 2,93$  г/см<sup>3</sup>,  $\kappa_{\text{ср}} = 100 \cdot 10^{-5}$  ед. СИ и отличаются по значениям  $\kappa$  от практически немагнитных, а в ряде случаев и обладающих диамагнитными свойствами малозольных шунгитовых пород. По сравнению с последними более высокими значениями  $\sigma$  и  $\kappa$  обладают многозольные шунгитовые породы, которые на месторождении Нигозеро характеризуются содержанием С < 2%,  $\sigma = 2,38 \pm 0,32$  г/см<sup>3</sup> (на 0,4—0,82 г/см<sup>3</sup> плотнее малозольных пород месторождения Загогино) и  $\kappa_{\text{ср}}$  около  $7,5 \cdot 10^{-5}$  ед. СИ. Установлена относительно тесная связь между эффективным атомным номером шунгитовых пород и содержанием в них углерода, что, вероятно, даст возможность оценивать эти породы по данным СГК.

Сотрудники ВНИИгеолнеруда, Институты геологии Карельского и Башкирского филиалов АН СССР установили, что  $\lambda$  шунгитсодержащих пород Карелии увеличивается с уменьшением содержания углерода и составляет примерно 2,64; 2,82; 3,59; 3,81; 4,52 Вт/(м·К) соответственно для пород I—V разновидностей. Определенное сходство шунгитовых пород с другими углеродсодержащими образованиями (графит, битумы и т.д.) по теплофизическим свойствам, возможно, позволит выявлять их залежи с помощью геотерморазведки.

В аспекте поиска и разведки месторождений рассматриваемых пород объекты геофизических исследований следует представлять ФГМ в виде малых и средних по мощности пластов, создающих вокруг себя естественные электрические поля, сложенных практически немагнитными образованиями и имеющих в зависимости от содержания углерода относительно широкие пределы изменения электропроводности, плотности и теплопроводности. При поиске и разведке месторождений данного вида нерудного сырья оправдано комплексирование электроразведки методами сопротивления и ЕП, высокоточной магниторазведки и ГИС в модификациях электрического и радиоактивного каротажа (см. табл. 2).

Различия физических свойств рассматриваемых и вмещающих пород, а также некоторые особенности залегания и геологического строения продуктивных толщ благоприятствуют использованию геофизических методов для поиска и разведки месторождений шунгитсодержащих пород. Результаты геофизических исследований, выполненных в Карелии над некоторыми залежами мало- и многозольных разновидностей данных пород, также свидетельствуют о том, что обоснованное привлечение геофизики и рациональное комплексирование ее с геологическими методами обеспечивают решение различных геологических задач (см. табл. 2).

Поисковые работы целесообразно проводить на площадях, перспек-

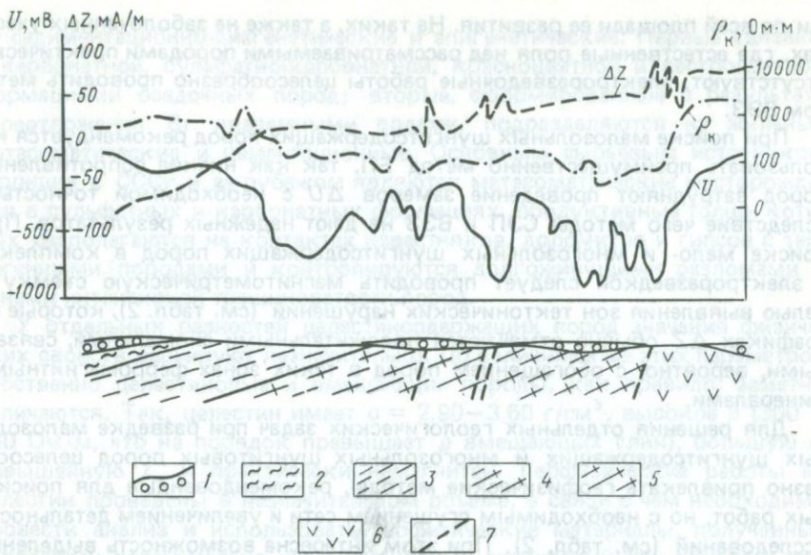


Рис. 49. Результаты электро- и магниторазведки на месторождении многозольных шунгитсодержащих пород Мягрозеро (по М.И. Голоду, С.А. Соколову, 1977 г.).

1 — четвертичные отложения; 2 — пестроцветные сланцы; продуктивные образования; 3 — нигозериты, 4 — переслаивание туффитов и нигозеритов, 5 — туффиты; 6 — диабазы; 7 — тектонические нарушения

тивность которых оценена по имеющимся геолого-геофизическим материалам. При этом на подстадии общего поиска для выявления площадей развития шунгитовых и шунгитсодержащих пород и оценки элементов их залегания рекомендуется привлечь электроразведку, в первую очередь — метод ЕП (см. табл. 2). В комплексе с ним целесообразно проводить также электроразведку ВЭЗ и СЭП. По результатам этих работ строятся графики потенциалов естественного электрического поля  $U$  и кажущегося сопротивления  $\rho_k$ , геоэлектрические разрезы и планы изолиний  $\rho_k$ , на которых площади развития шунгитсодержащих пород отмечаются пониженными значениями параметров  $U$  и  $\rho_k$ . Так, на месторождении Мягрозеро (рис. 49) продуктивная толща шунгитсодержащих сланцев отмечена минимумом  $U$  800–1000 мВ, осложненным рядом менее интенсивных аномалий ЕП. Отрицательные значения  $U$  (до 300–700 мВ) приурочены и к нигозеритам. Шунгитсодержащие породы рассматриваемого месторождения отмечаются пониженными значениями  $\rho_k$  (над туффитами 20–70, над переслаиванием их между собой 50–80 Ом·м) относительно вмещающих диабазов (1000–2000 Ом·м).

На некоторых месторождениях (Нигозеро и др.) продуктивные пласты многозольных шунгитсодержащих пород нередко перекрыты достаточно мощным чехлом четвертичных отложений, вследствие чего метод ЕП не всегда обеспечивает выявление и картирование продуктивной тол-

щи по всей площади ее развития. На таких, а также на заболоченных участках, где естественные поля над рассматриваемыми породами практически отсутствуют, электроразведочные работы целесообразно проводить методом ВЭЗ.

При поиске малозольных шунгитсодержащих пород рекомендуется использовать преимущественно метод ЕП, так как низкие сопротивления пород затрудняют проведение замеров  $\Delta U$  с необходимой точностью, вследствие чего методы СЭП и ВЭЗ не дают надежных результатов. При поиске мало- и многозольных шунгитсодержащих пород в комплексе с электроразведкой следует проводить магнитометрическую съемку с целью выявления зон тектонических нарушений (см. табл. 2), которые на графиках  $\Delta Z$  обычно отмечаются положительными аномалиями, связанными, вероятно, с обогащением пород в таких зонах ферромагнитными минералами.

Для решения отдельных геологических задач при разведке малозольных шунгитсодержащих и многозольных шунгитовых пород целесообразно привлекать геофизические методы, рекомендованные для поисковых работ, но с необходимым сгущением сети и увеличением детальности исследований (см. табл. 2). При этом интересна возможность выделения по геофизическим данным вспучивающихся разностей шунгитсодержащих пород (0,5–2% С), имеющих значения  $\rho = 80 \div 800$  Ом·м. Сотрудники Института геологии Карельского филиала АН СССР М.И. Голод и С.Я. Соколов рекомендуют использовать с такой целью двух- и трехразные установки СЭП, в том числе и с малыми разносами питающих электродов.

Результаты ГИС в модификациях КрЭП, КСК, ГК и др. дают возможность в первом приближении судить о технологических свойствах шунгитовых и шунгитсодержащих пород, а также расчленять их толщи на отдельные пачки, выявлять карбонатизированные прослои, судить о процентном содержании и равномерности распределения углерода, выявлять зоны трещиноватости продуктивных толщ. Применительно к поиску и разведке шунгитовых и шунгитсодержащих пород целесообразно опробовать высокоточную гравиразведку, ГИС в модификациях НГК, ПС и др., радиоволновые (Рк и др.) и индуктивные методы электроразведки, которые успешно применяются на месторождениях графита, близкого по своим физическим свойствам к шунгитсодержащим породам.

## ЦЕЛЕСТИН

Сульфат стронция (целестин) — основной промышленный минерал залежей стронциевого сырья, потребности в котором значительно возросли в связи с выявлением возможности и целесообразности его применения в радиоэлектронике, нефтедобывающей промышленности и др. Традиционными областями использования стронция являются пиротехника, керамическая, лакокрасочная промышленность, изготовление фаянса и другие.

По генетическому принципу месторождения целестина подразделяются

на седиментационно-диагенетические и эпигенетические. Первые связаны с карбонатной, сульфатно-карбонатной, красноцветной и пестроцветной формациями осадочных пород; вторые, сформированные в результате переотложения Sr подземными водами, подразделяются на жильные метасоматические и цементационные. Основным сырьевым источником стронция в СССР и за рубежом являются метасоматические месторождения в сульфатных и карбонатных формациях, продуктивные толщи которых располагаются на контактах известняков, доломитов и гипсов с терригенными породами и контролируются долгоживущими разломами и зонами интенсивной трещиноватости пород.

У отдельных разновидностей целестинсодержащих пород значения физических свойств варьируют незначительно. По величинам же этих параметров собственно целестиновые и вмещающие породы, как правило, заметно отличаются. Так, целестин имеет  $\sigma = 2,90-3,60 \text{ г/см}^3$ , высокое  $\rho$  (300 — 460 Ом·м, что на порядок превышает  $\rho$  вмещающих глин), большую  $\epsilon$ , повышенную  $I_\gamma$  и практически немагнитен. Геофизические работы на целестин проведены в незначительном объеме, в связи с чем необходимо провести анализ и использовать геофизические материалы, полученные в пределах потенциально целестиноносных территорий при поиске и разведке нефтегазовых и рудных месторождений. Эти материалы содержат значительную информацию о структурно-тектонических, фациальных, литологических и других геологических особенностях районов развития целестиновой минерализации и должны переинтерпретироваться при проектировании поисковых работ на целестин. Особого внимания заслуживают разработанные в ИМГРЭ прогнозно-поисковые критерии целестиноносных поясов, зон, полей и целестиновых месторождений.

Объекты поисково-разведочных геофизических исследований на целестин следует аппроксимировать ФГМ в виде пласто- и жилообразных тел, отличающихся от вмещающих пород повышенными значениями плотности, электрического сопротивления, диэлектрической проницаемости, естественной  $\gamma$ -активности и практической немагнитностью. При соответствующих поисково-разведочных работах оправдано комплексирование грави-, электроразведки, ГИС (стандартный каротаж и РПК) с полевым и лабораторным рентгенорадиометрическим опробованием (см. табл. 2).

При общем поиске выявление элементов структурного контроля сводится к выяснению особенностей глубинного строения изучаемых территорий и к оконтуриванию брахиантиклинальных структур и поднятий первого порядка, к которым нередко приурочены целестиноносные зоны. При этом следует использовать гравиразведку, электроразведку (ВЭЗ, МТТ), сейсморазведку МОВ и ГИС (см. табл. 2).

Важнейшей особенностью пространственного положения целестиноносных полей является их приуроченность к узлам пересечения долгоживущих глубинных разломов и к оперяющим их структурам, нередко сопровождающимся зонами повышенной трещиноватости пород. Выделение таких зон, а также оценку мощности рыхлых образований, определение морфологии и геометрии продуктивных тел целесообразно осуществлять

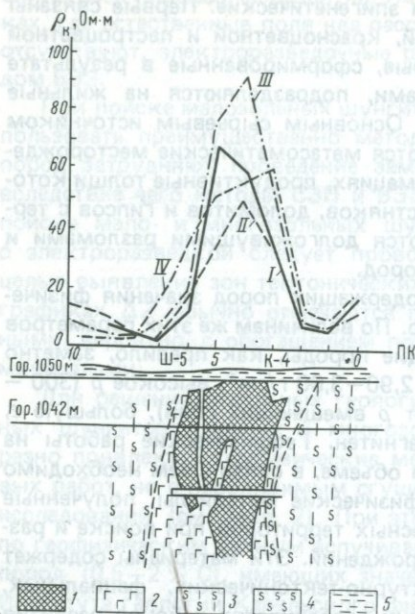


Рис. 50 Результаты электроразведки на месторождении целестина.

Графики  $\rho_k$  по данным СЭП при АВ и MN, равных соответственно (в м): I — 50 и 5, II — 50 и 10, III — 120 и 10, IV — 120 и 20; 1 — рудное тело; 2 — гипсы; 3 — глины и аргиллиты; 4 — аргиллиты; 5 — глина. Разведочные горизонты (Гор.) оцифрованы в абсолютных отметках

Поисково-картировочные возможности электроразведки заметно возрастают при ее комплексировании с детальной и высокоточной гравиразведкой. Теоретическими расчетами в ИМГРЭ оценены гравитационные эффекты над некоторыми моделями продуктивных тел. В частности, показано, что гравиразведкой с точностью  $\pm 0,03 \cdot 10^{-5}$  Н/кг можно выявлять пластообразные тела мощностью 3 м и с  $\Delta\sigma = 1,2$  г/см<sup>3</sup>, залегающие на глубине до 16 м, а также перекрытые безрудными породами крутопадающие жилообразные тела мощностью 10 м, простирающиеся на глубину 20 м. При поиске и разведке месторождений целестина все шире применяется рентгенорадиометрическая съемка, которая нередко, в частности на Мангышлаке, является одним из ведущих поисково-разведочных методов.

При предварительной и детальной разведке месторождений целестина геофизические методы рекомендуется в основном использовать для литологического расчленения разрезов, изучения ритмичности осадконакопления, структурных условий размещения оруденения, выделения рудных

путем комплексирования (см. табл. 2) высокоточной гравиразведки, электроразведки (ВЭЗ, СЭП), сейсморазведки и ГИС.

При детальном опoisковании и поисково-оценочных работах геофизические методы рекомендуется применять для оконтуривания рудных тел, изучения их морфологии, определения мощности и глубин залегания (см. табл. 2). Высокоомные пласты целестина достаточно четко выделяются электроразведкой ВЭЗ и СЭП. Так, на одном из месторождений целестина (рис. 50) продуктивное тело приурочено к толще гипсов, залегающих среди пестроцветной свиты глин, песчаников и аргиллитов. Результативность применения здесь электроразведки в немалой степени предопределена дифференциацией пород разреза по сопротивлению ( $\rho$  целестина больше  $\rho$  гипсов, которое больше  $\rho$  глин, песчаников и аргиллитов). Зоны тектонических нарушений в известняках, с которыми нередко связано целестиновое оруденение, в ряде случаев уверенно выявляются электроразведкой.

Поисково-картировочные воз-

интервалов и определения содержания Sr и сопутствующих элементов в продуктивных горизонтах (см. табл. 2). Для решения этих и некоторых других задач целесообразно комплексировать ГИС в модификациях КС, ПС, ГК, РПК и наземное рентгенорадиометрическое опробование с анализатором "Минерал-4". Работы методом РПК успешно проводятся на месторождениях Казахстана, Таджикистана и Узбекистана, где по данным, полученным с аппаратурой СКР-300, достигнута пороговая чувствительность определения стронция около 0,1–0,2%. При разведке Шерабадского месторождения РПК успешно использовали для увязки отдельных литолого-стратиграфических горизонтов, выяснения условий размещения и границ распространения промышленного оруденения, определения содержания стронция непосредственно в разрезах скважин с использованием геофизических данных для подсчета запасов, принятых ГКЗ СССР [27]. Внедрение рентгенорадиометрического опробования изучаемых разрезов по данным РПК позволяет вести целенаправленное керновое опробование; при некондиционном выходе керна обычно принимаются результаты РПК и рудный интервал не перебурируется. В надрудной толще обычно ведется бескерновое бурения, вследствие чего разрез этой толщи дается только по геофизическим данным.

## ЦЕОЛИТЫ

Цеолиты — группа минералов, представляющих собой водные алюмосиликаты ряда щелочных и щелочноземельных элементов. Наличие многочисленных полостей и каналов в каркасе цеолитов обуславливает их специфические свойства, выражающиеся в способности избирательного поглощения и последующего выделения некоторых химических веществ. Породы, состоящие преимущественно из цеолитов (более 70%), являются полезными ископаемыми. Низкая себестоимость и свойства природных "молекулярных сит" делают рентабельным их использование для сорбции промышленных отходов (включая радиоактивные и токсичные), для очистки газов, нефтепродуктов, питьевых и сточных вод, в вакуумной и холодильной технике, в качестве добавок при производстве цемента, резины, бумаги, удобрений и кормов, а также в ряде других отраслей народного хозяйства.

Наиболее распространен вулканогенно-осадочный тип месторождений, связанных с раннеорогенными (Камчатка, Приморье, Закарпатье) и позднегеосинклинальными (Закавказье) этапами развития складчатых областей. Способность вулканических цеолитоносных пеплов во время извержений разноситься на большие расстояния обуславливает различные условия их накопления, нестабильность содержания полезных компонентов и широкое распространение в субареальных вулканогенных и осадочных толщах. Цеолитоносные залежи нередко имеют протяженность до нескольких километров и залегают среди регионально развитых мощных толщ витрокластических туфов, а иногда известняков. Мощность отдельных продуктивных горизонтов достигает десятков и первых сотен метров.

Л.О. Мартиросовой (1972 г.) и Т.Н. Сироткиной (1967 г.) показано,

что цеолитоносные породы имеют высокое значение  $k_n$  (до 40 %) и низкую  $\sigma$  (1,8–2,2 г/см<sup>3</sup>), что позволяет дифференцировать их среди вмещающих пород, у которых  $k_n = 5–20$  % (редко выше),  $\sigma = 2,3–2,6$  г/см<sup>3</sup> и более.

Значения  $k_n$  и  $\sigma$  цеолитизированных пород зависят в основном от содержания в них цеолитов. Установлено, что с увеличением содержания минерала морденита от 55 до 90 %  $\sigma$  цеолитизированных туфов Морденитового месторождения уменьшается с 2,2 до 2,0 г/см<sup>3</sup>.

Магнитные свойства цеолитизированных пород различны. Наряду с практически немагнитными ( $k < 12,5 \cdot 10^{-5}$  ед. СИ) обнаружены разности этих пород,  $k$  которых варьирует от  $380 \cdot 10^{-5}$  до  $126 \cdot 10^{-5}$  ед. СИ. В цеолитизированных туфах скорость распространения упругих волн  $v$  изменяется от 2,5 до 4,5 км/с, что сопоставимо со значениями  $v$  во вмещающих породах. По естественной  $\gamma$ -активности цеолитсодержащие породы близки к бентонитовым глинам и характеризуются значениями  $I_\gamma = 1,43–2,15$  пА/кг, что превышает  $\gamma$ -активность вмещающих вулканогенно-осадочных образований ( $I_\gamma$  обычно 0,5–0,57 пА/кг, редко 1,07–1,3 пА/кг). Значения вызванной поляризации у цеолитизированных и вмещающих пород практически близки, изменяясь обычно в пределах 0,1–2 %.

Применительно к поиску и разведке месторождений цеолитов объекты геофизических исследований следует аппроксимировать ФГМ в виде средне- и крупноразмерных (по протяженности и мощности) пластов, залегающих среди витрокластических туфов и известняков. От вмещающих образований продуктивные на цеолит горизонты отличаются повышенными значениями коэффициента пористости, пониженными величинами плотности и недостаточной дифференцированностью по магнитным, упругим свойствам, естественной радиоактивности и поляризуемости. При соответствующих поисково-разведочных работах представляется оправданным комплексирование гравиразведки и радиоактивного каротажа с небольшими объемами высокоточной магниторазведки и детальных электроразведочных работ (см. табл. 2).

В связи с тем, что на месторождениях цеолитов нет опыта постановки специальных геофизических исследований, нами проанализированы результаты геофизических работ различного целевого назначения. Совместный анализ петрофизических и геолого-геофизических данных в ряде случаев обеспечивает решение конкретных геологических задач. Методические рекомендации по использованию таких материалов и постановке дополнительных геофизических исследований на месторождениях цеолитов рассмотрены ниже, а также приведены в табл. 2.

На различных подстадиях поисковых работ рекомендуется проводить средне- и крупномасштабные грави- и магнитометрические съемки с целью детального изучения структурно-тектонических особенностей изучаемых площадей и картирования на них участков развития цеолитизированных образований. Одновременно с выполнением таких съемок необходимо изучать физические свойства, в том числе петроплотностные характеристики продуктивных горизонтов и вмещающих пород по площади и в разрезе. Для интерпретации материалов детальных и высокоточных грави-

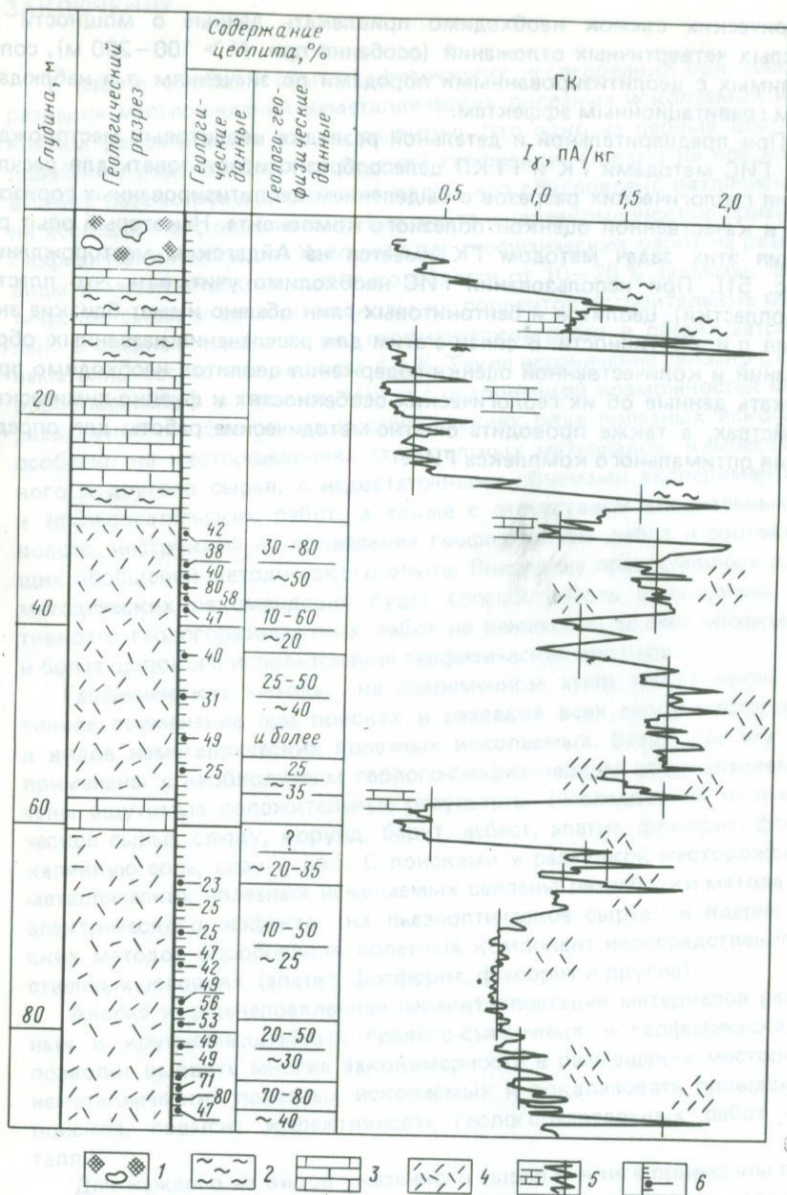


Рис. 51. Геолого-геофизический разрез по скв. 18 Айдагского месторождения цеолитов (Закавказье).

1 — суглинки, супеси, с обломками известняков и туфов; 2 — бентонитовые и известковистые глины; 3 — известняки, окварцованные и трещиноватые; 4 — цеолитсодержащие туфы; 5 — средние значения  $\gamma$ -активности пластов; 6 — интервал опробования цеолитсодержащих туфов; оценка содержания цеолита в пласте дана по геологическим (числитель) и геофизическим (знаменатель) данным

метрических съемок необходимо привлекать данные о мощности  $H$  рыхлых четвертичных отложений (особенно при  $H > 100-200$  м), сопоставимых с цеолитизированными породами по значениям  $\sigma$  и наблюдаемым гравитационным эффектам.

При предварительной и детальной разведке цеолитовых месторождений ГИС методами ГК и ГГКП целесообразно использовать для расчленения геологических разрезов с выделением цеолитизированных горизонтов и качественной оценкой полезного компонента. Некоторый опыт решения этих задач методом ГК имеется на Айдагском месторождении (рис. 51). При использовании ГИС необходимо учитывать, что пласты (пропластки) цеолитов и бентонитовых глин обычно имеют близкие значения  $\sigma$  и  $\gamma$ -активности. В связи с этим для расчленения названных образований и количественной оценки содержания цеолитов необходимо привлекать данные об их геологических особенностях и физико-химических свойствах, а также проводить опытно-методические работы для определения оптимального комплекса ГИС.

Значение удельной активности  $\gamma$  у цеолитизированных и смежных пород претерпевает большие изменения, обычно  $0,5-2,0$  мкА/кг. При этом в разрезе месторождения наблюдается закономерный следует аллювиальным отложениям, а также в кристаллических (по протеканию в них тектонических разрывов) и в тронлестических породах и т.д. (рис. 51). Образуется продуктивные на пласты глин, а также и другие минералы. Коэффициент пористости, коэффициент влажности и др. параметры изменяются по-разному. При этом в комплексе цеолитовых месторождений, как правило, выделяется с известными особенностями. В зависимости от условий элементоразнообразия (см. табл. 2).

В связи с тем, что на месторождениях цеолитовых месторождений наблюдаются геохимические особенности, для проведения геологических работ разведки цеолитовых месторождений следует обеспечить геологическую разведку, а также геологическую разведку по использованию цеолитовых месторождений. Для этого необходимо проводить геологическую разведку, а также геологическую разведку.

На рисунке 51 показаны геологические разрезы, составленные на основе данных геологической разведки. На рисунке 51 показаны геологические разрезы, составленные на основе данных геологической разведки. На рисунке 51 показаны геологические разрезы, составленные на основе данных геологической разведки.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе обобщен опыт геофизических исследований при поисках и разведке месторождений неметаллических полезных ископаемых и обоснованы рекомендации по их развитию. Это одно из первых обобщений подобного рода в области нерудной геофизики. Однако не все вопросы в книге рассмотрены достаточно полно, что обусловлено различием уровня исследований, ограниченностью опыта и неравномерностью применения геофизических методов. Удельный вес геофизических работ на различные виды неметаллического сырья колеблется от 10–20 % (алмазы, пьезооптическое сырье и др.) до нескольких процентов (строительные материалы). В среднем удельный вес геофизических работ в общих затратах на неметаллы составляет не более 4,5 %. Такое ограничение связано с слабым опробованием, а в ряде случаев и с недооценкой возможностей методов разведочной геофизики на месторождениях ряда полезных ископаемых, особенно на месторождениях строительных материалов, камнесамоцветного и другого сырья, с недостаточными объемами экспериментальных и исследовательских работ, а также с отсутствием специальных руководств, инструкций на проведение геофизических работ и соответствующих обобщений методического опыта. Внедрение предложенных в работе методических рекомендаций будет способствовать повышению эффективности геологоразведочных работ на неметаллы за счет обоснованного и более широкого использования геофизических методов.

Геофизические методы на современном этапе могут найти эффективное применение при поисках и разведке всех типов месторождений и видов неметаллических полезных ископаемых. Везде, где эти методы применены с необходимым геолого-геофизическим обоснованием, получены ощутимые положительные результаты (исследования на пьезооптическое сырье, слюду, корунд, барит, асбест, апатит, флюорит, фосфорит, калийную соль, серу и др.). С поисками и разведкой месторождений неметаллических полезных ископаемых связаны разработки метода сейсмoeлектрического эффекта (на пьезооптическое сырье) и ядерно-физических методов опробования полезных компонент непосредственно в естественных условиях (apatит, фосфорит, флюорит и другие).

Анализ и целенаправленная переинтерпретация материалов региональных и крупномасштабных геолого-съемочных и геофизических работ позволит выявить многие закономерности в размещении месторождений неметаллических полезных ископаемых и локализовать площади для их поисков, повысит эффективность геологоразведочных работ на неметаллы.

Для каждого из видов указанного сырья в книге приведены рекомендации по формированию комплексов работ для различных стадий и подстадий поисков и разведки. При отсутствии должного опыта на месторождениях неметаллов, авторы обращались к опыту рудной, нефтяной и угольной геофизики. Такого рода рекомендации могут быть приняты как предварительные с последующим их уточнением применительно к

требованиям нерудной геофизики. В первую очередь это относится к выявлению и изучению перспективных структур, проявлений магматизма и метаморфизма, формаций, продуктивных свит и горизонтов, вмещающих полезное ископаемое и т. д.

Однако специфичность локализации проявлений неметаллов, геологоструктурной и физической характеристик их месторождений не позволяют ограничиться использованием опыта других отраслей, а делают необходимым также разработку специальных методов и методик для поисков и разведки конкретных видов этих полезных ископаемых. Опыт рудной и нерудной геофизики указывает на необходимость тесного комплексирования геофизических методов с геологическими и геохимическими работами, данные которых позволяют правильно и своевременно выяснить геологическую природу аномальных геофизических полей и оценить перспективы выявленных объектов.

Развитие геофизических работ на неметаллы требует форсированного изучения петрофизических характеристик полезных ископаемых, вмещающих их пород и разработку физико-геологических моделей объектов исследований. Особого внимания заслуживают методы, обеспечивающие прямое выделение залежей отдельных видов сырья, а также методы, позволяющие дать количественную и качественную оценку полезных ископаемых непосредственно в естественных условиях.

При изучении структуры разреза и выделении глубокозалегающих месторождений важную роль в комплексах должны сыграть методы сейсморазведки. Повышение достоверности поисковых и разведочных работ за счет исследования околоскважинного пространства связывается с освоением и внедрением методов скважинной геофизики.

Геофизические работы на неметаллы должны сопровождаться анализом их экономической эффективности. Непременные условия внедрения этих работ — повышение достоверности, качества геологических выводов и построений и снижение стоимости затрат на поиски или разведку единицы запасов полезного ископаемого (или хотя бы один из указанных двух критериев).

В книге обосновывается необходимость разработки комплексов геофизических методов для всех стадий и подстадий геологоразведочных работ на неметаллы — от региональных исследований провинций до разведки месторождений в конкретных геологических, экономических и геоморфологических условиях. Выбор комплекса основывается на физико-геологической модели объектов определенного класса, соответствующего стадии работ, с учетом сравнительной эффективности каждого из методов, и должен сопровождаться расчетом оптимальных размеров сети съемки и точности измерений, разработкой методики комплексной интерпретации геофизических материалов.

Рекомендуемые в работе комплексы исследований в процессе их освоения и внедрения будут непрерывно совершенствоваться с учетом новейших достижений научно-технического прогресса в разведочной геофизике. Их применение будет способствовать повышению эффективности геологоразведочных работ на неметаллические полезные ископаемые.

1. *Бадьин Г.В.* Определение содержания хризолит-асбеста во взрывном блоке по данным КС. — Разведка и охрана недр, 1977, № 2, с. 50—51.
2. *Бачин А.П., Гуйо Г.А.* Результаты применения геохимических методов при поисках антофиллит-асбеста в Южных Мугоджарах. — В кн.: Методика и техника геофизических поисков рудных месторождений. Фрунзе, Илим, 1975, с. 157—159.
3. *Борков В.С., Коншина Ю.П.* Поиски и разведка месторождений строительных материалов геофизическими методами. М., Недра 1970.
4. *Вахромеев Г.С.* Основы методологии комплексирования геофизических исследований при поисках рудных месторождений. М., Недра, 1978.
5. *Вахромеев Г.С., Дудко Е.А.* Оценка прогнозных запасов флюорита по геофизическим и геохимическим данным. — Тр. Иркутск. политехн. ин-та. Сер. геофиз., вып. 68. Иркутск, 1971, с. 102—106.
6. *Вахромеев Г.С., Дугара А.П.* Результаты комплексных геофизических исследований при поисках хрусталеносных пегматитов в районе Горихинского гранитного массива. — В кн.: Геофизические методы поисков и разведки, вып. 2. Свердловск, изд. СГИ, 1975, с. 117—123.
7. *Вишневецкий П.В., Пинягина Л.В.* Применение геофизических методов для изучения закарстованности месторождений карбонатных пород. — Обзор ВИЭМС. Сер. Регион. развед. и промысл. геофизика. М., изд. ВИЭМС, 1975.
8. *Геофизические методы при поисках слюдяных месторождений / М.И. Голод, А.С. Гришин, Т.С. Игнатъева и др. Л., Наука, 1973.*
9. *Гладков Н.А., Бояркин В.А., Семенников М.И.* Методы вызванной поляризации и естественного поля при поисках геосинклинальных фосфоритов в Восточном Саяне. — Тр. СНИИГГИМС, вып. 238. Новосибирск, 1976, с. 19—24.
10. *Голлербах А.Э.* Перспективы применения геофизических методов при поисках и разведке вулканогенной серы на Курильских островах. — В кн.: Новые данные по геологии и полезным ископаемым. Южно-Сахалинск, Сахалинское книжн. изд-во, 1977, с. 24—30.
11. *Голод М.И.* Физические свойства горных пород слюдяных месторождений. — В кн.: Петрофизическая характеристика советской части Балтийского щита. Апатиты, изд. Геол. ин-та Кольск. ФАН СССР, 1976, с. 104—109.
12. *Голод М.И.* Геофизические методы при поисках тектонических пегматитоносных зон. Л., Наука, 1978.
13. *Горбачев А.Н., Карпунин А.М., Матуканис Л.Ф.* Применение нейтронно-активационной флуориметрии при поисково-разведочных работах. — Обзор ВИЭМС. Сер. Регион. развед. и промысл. геофизика. М., изд. ВИЭМС, 1972.
14. *Давыдов Ю.Б., Бакаев В.П.* Выделение зон асбестоносных пород  $\gamma$ - $\gamma$ -методом. — Изв. вузов. Сер. Горный журнал, 1976, № 5, с. 3—7.
15. *Елизаров Л.И.* Физические свойства слюдитов Среднего Урала. — В кн.: Минералогия и петрография Урала, вып. 124. Свердловск, изд. СГИ, 1976, с. 87—90.
16. *Зыков И.А., Родионов Л.И.* Методы определения содержания нерастворимого остатка и карналлита в сильвините и калийной соли по данным каротажа. — В кн.: Геология нерудных полезных ископаемых БССР. Минск, изд. БелНИГРИ, 1976, с. 119—128.
17. *Зыков И.А., Шуравин А.Н.* Строение и корреляция бокситоносных горизонтов и пластов давсонитсодержащих пород по диаграммам каротажа скважин. — В кн.: Вопросы геологии и поисков рудных полезных ископаемых БССР. Минск, изд. БелНИГРИ, 1976, с. 129—137.
18. *Зыков И.А., Копысов Ю.Г.* Изучение радиоактивности верхнемеловых фосфатных пород и руд. — В кн.: Тез. докл. семинара "Вещественный состав фосфоритов". Новосибирск, изд. СО АН СССР, 1977, с. 53—56.
19. *Зюзин А.Я.* Геофизические исследования при поисках кальцитоносных объектов. — Разведка и охрана недр, 1978, № 1, с. 35—38.
20. *Иванов А.А., Елизаров Л.И.* Геофизические методы при поисках месторождений изумрудов. — В кн.: Геология, методы поисков, разведка и оценка месторож-

дений ювелирных, поделочных и декоративных облицовочных камней. М., Изд. Мингео СССР, 1975, с. 29—31.

21. *Инфракрасная* съемка при поисках жильных битумов и некоторых других неметаллов / П.В. Вишневский, И.А. Бареев, В.А. Вербицкий и др. — Разведочная геофизика, 1978, вып. 84, с. 147—154.

22. *Карус Е.В., Файзуллин И.С.* Возможности изменения межскважинного прозвучивания для изучения закарстованных зон. — Изв. вузов. Сер. Геол. и развед. 1977, № 2, с. 77—81.

23. *Комплексирование* геофизических методов при решении геологических задач / Под ред. В.Е. Никитского, В.В. Бродового, М., Недра, 1976.

24. *Коплус А.В., Гордеева В.А.* Рациональное комплексирование методов при крупномасштабных поисках месторождений флюорита. — Разведка и охрана недр, 1979, № 10, с. 21—26.

25. *Коткин В.А., Коткина Л.В.* Изучение месторождений целестина по данным скважинной геофизики. — Разведка и охрана недр, 1979, № 10, с. 40—44.

26. *Курс* месторождений твердых полезных ископаемых. Под ред. П.М. Татаринова и А.Е. Карякина. Л., Недра, 1975.

27. *Меньшиков В.А.* О методике прогнозной оценки удельного качества мусковита слюдоносных жил по данным электропрофилирования на примере месторождений Мамско-Чуйского района. — В кн.: Геофизические исследования Сибирской платформы. Иркутск, Вост.-Сиб. книж. изд-во, 1977, с. 213—220.

28. *Меньшиков В.А., Меньшикова Г.М.* Физические свойства горных пород Мамско-Чуйских месторождений мусковита. — В кн.: Геофизические исследования Сибирской платформы. Иркутск, Вост.-Сиб. книж. изд-во. 1977. с. 235—246.

29. *Нерудная* геофизика (Геофизич. исслед. при поисках и разведке горнотехнич. сырья и др. неметаллов). Отв. ред. П.В. Вишневский. М., изд. ВНИИГеофизики, 1978.

30. *Опыт* геофизических работ при поисках апогилербазитовых залежей талька и антофиллит-асбеста в Миасской тальковой провинции / И.Ф. Романович, М.Я. Астафьева, А.И. Петров, Е.Н. Прохорова. — Геология, поиски и разведка нерудных полезных ископаемых, вып. 3. Л., 1977, с. 115—117.

31. *Опыт* применения нейтронно-резонансного каротажа для количественного определения бора во взрывных скважинах / В.С. Иванов, Б.С. Вахтин, Д.И. Соколов, А.В. Чернышев. — В кн.: Ядерно-геофизические методы в геологии. Новосибирск, изд. СО АН СССР, 1975, с. 16—21.

32. *Патрикян Р.П., Гнилко М.К.* Геофизические методы при поисках месторождений нерудного сырья в Предкарпатском прогибе. — Разведка и охрана недр, 1975, № 6, с. 35—40.

33. *Петрофизическая* характеристика шунгитовых пород / Г.С. Игнатьева, М.И. Голод, Л.П. Галдобина и др. — В кн.: Петрофизическая характеристика советской части Балтийского щита. Апатиты, изд. Кольск. ФАН СССР, 1976, с. 110—114.

34. *Применение* геофизических методов при поисках и разведке неметаллических полезных ископаемых / Г.Е. Кузнецов, П.В. Вишневский, К.М. Тен, Р.Ш. Хариотонова — Обзор ВИЭМС. Сер. Регион., развед. и промысл. геофизика. М., изд. ВИЭМС, 1972.

35. *Сапужак Я.С., Шамотко В.И.* Об оценке характера структуры залежей калийных солей методами электроразведки в Предкарпатье. — В кн.: Тектоника и полезные ископаемые запада УССР, Киев, Наукова думка, 1973.

36. *Физические* свойства горных пород и полезных ископаемых (петрофизика). Справочник геофизика. Под ред. Н.Б. Дортман. М., Недра, 1976.

37. *Ядерно-физические* методы опробования скважин на месторождениях фосфоритов, апатитов и плавикового шпата. Алма-Ата, изд. КазВИРГ НПО Рудгеофизика, 1975.

38. *Яроцкий Г.П., Поляков Г.П.* Комплекс геофизических методов при поисках месторождений серы на севере Камчатки. — Геология и геофизика, 1973, № 4, с. 85—92.

39. *Bezvoda Václav, Novák Václav.* Geoelektrický průzkum grafitu u Nebahov. — Sb. Jihočesk. muz. česk. Budějov. Prir věgy, 1977, v. 17, N 3, s. 93—101.

40. *Bhattacharya B.S., Jain S., Mallick K.* Geophysical prospecting for barite. — Geophys. Prospect., 1974, v. 22, N 3, p. 421—429.

41. *Curyto Z., Niewodniczoński I., Patka K.* E morliwości rozdzielienia dolomitów i wapieni w otworach wiertniczych. — Zesz. nauk. AGH, 1975, N 483, p. 17—25.

42. *Thierbach R.* Electromagnetic Reflections in Salt Deposits. — J. Geophys., 1974, v. 40, N 5, p. 633—637.

## ОБОЗНАЧЕНИЯ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ И ИХ МОДИФИКАЦИЙ

Магниторазведка (МР). Съёмки: МАС — аэро, МНС — наземная, МВТ — высокоточная, ММ — морская магнитометрическая, КМ — морская каппаметрическая; КМ — каппаметрия пород (на обнажениях) и образцов.

Гравиразведка (ГР). Съёмки: ГРМ — гравиметровая (гравиметрическая), ГМ — градиентометрическая, ВМ — вариометрическая, ГВТ — высокоточная; ГП — гамма-плотнометрия рыхлых отложений.

Сейсморазведка (СР). МОВ — метод отраженных волн, ПЗ МОВ — профильное зондирование МОВ; КМПВ — корреляционный метод преломленных волн; РНП — метод регулируемого направленного приема; ОГТ — метод общей глубинной точки; МПВ — метод первых вступлений и ССП-МПВ — сейсмоскоростное профилирование МПВ; МРВ — метод рефрагированных волн; МДВ — метод дифрагированных волн; ГСЗ — глубинное сейсмическое зондирование; сейсмические работы: ВБР — вибрационные (вибросейс), СВЧ — высокочастотные, СРМ — малоглубинные; межскважинное просвечивание: САП — сейсмоакустическое, АКП — акустическое; морские исследования: ЛБО — локация бокового обзора, ЭЛ — эхолотирование, ВСП — вертикальное сейсмическое профилирование.

Электроразведка (ЭР). Съёмки: ЭАС — аэро, ПЭС — потенциометрическая; электрическое зондирование (ЭЗ): ВЭЗ — вертикальное, ВЭЗ-П — параметрическое у скважин, ВЭЗ-ВП — в модификации ВП; КВЭЗ — круговые, КРВЭЗ — крестовые, ДЭЗ — дипольное, ПЭЗ — пенетрационное, МЭЗ — морское; зондирование: МТЗ — магнитотеллурическое, ЗСП — становлением поля, ЗСБЗ — ЗСП в ближней зоне, ЧЗ — частотное, ЧЭМЗ — частотное электромагнитное, ДЭМЗ — дипольное электромагнитное, ДОЗ — дипольное осевое; электрическое профилирование ЭП; СЭП — симметричное, СЭП-ВП — СЭП в модификации ВП; НСЭП — несимметричное, КЭП — комбинированное, ДЭП — дипольное, КруЭП — круговое; индуктивное профилирование; ДИП — дипольное наземное, ДИП-А — дипольное при аэросъёмке, ДИП-АФИ — дипольное с амплитудно-фазовыми измерениями; МСГ — метод срединного градиента; МСГ-ВП — МСГ в модификации ВП; МПП — метод переходных процессов; МИН — метод индукции; МИ — метод изолиний; МЗТ — метод заряженного тела; МДС — метод двух составляющих; МЭК — метод электрической (электродной) корреляции; МТТ — метод теллурических токов; ПЭМ — пьезоэлектрический метод; МВП — метод вызванной поляризации; ЕП — метод естественного поля; Рк — радиокомпараторный метод (радиокип); РВП — радиоволновое просвечивание.

Радиометрические и ядерно-геофизические исследования и анализы (РС). Съёмки: ГС — гамма-интегральная (радиометрическая) наземная, ГМ — гамма-метрическая морская, ГСС — гамма-спектрометрическая, АГСС — ГСС при аэросъёмке, НАС — нейтронно-активационная, НАБС — нейтронно-абсорбционная, ЭС — эманационная, РРС — рентгенорадиометрическая; опробование: НАО — нейтронно-активационное, РРО — рентгенорадиометрическое, ГО, ГГО, ГСО, ГОШ — гамма, гамма-гамма, гамма-спектрометрическое и гамма-опробование шурфов; исследование сырья, образцов: НРИ — нейтронно-резонансное, НАИ — нейтронно-активационное, РРИ — рентгенорадиометрическое, НАБ — нейтронно-абсорбционное; анализ образцов и проб; НАА — нейтронно-активационный, РРА — рентгенорадиометрический.

Геофизические исследования скважин (ГИС). Электрический каротаж (ЭК): КС — каротаж сопротивления, ПС — каротаж потенциалов самопроизвольной поляризации, ВП — каротаж вызванных потенциалов, БК — боковой каротаж, БМК — боковой микрокаротаж, МК — микрокаротаж, ТК — токовой каротаж, БМКТ — боковой микрокаротаж токовый, БКЗ — боковое каротажное зондирование, КСК — каротаж скользящими контактами, КрЭП — каротаж электродных потенциалов, ДК — дизлектрический каротаж, ИК — индукционный каротаж, ВИК — высокочастотный ИК, РСЗ — разность сопротивлений заземлений, Рез. — резистивиметрия скважин; радиоактивный каротаж (РК): ГК — гамма-каротаж, СГК, ГКП, НГК и ИНГК — соответственно спектрометрический (селективный), плотностной, нейтронный и



Соотношения единиц физических величин и параметров геофизических полей  
(в единицах СИ и ранее использовавшихся систем)

Свойства и параметры	Индексы	Единицы физических величин в		Переводные множители из СИ в СГС и внесистемные
		СИ	ранее использовавшихся систем и внесистемные	
1	2	3	4	5
Плотность	$\sigma$	кг/м <sup>3</sup>	г/см <sup>3</sup>	10 <sup>-3</sup>
Пористость	$k_p$	—	%	—
Объемный вес	$V_{об}$	Н/м <sup>3</sup>	дина/см <sup>3</sup>	10 <sup>-1</sup>
Сила тяжести	$\Delta g$	Н/кг	10 <sup>5</sup> мГал	10 <sup>5</sup>
Вторая производная силы тяжести	$W_{xz}$	с <sup>-2</sup>	Э	10 <sup>9</sup>
Удельное электрическое сопротивление	$\rho$	Ом·м	Ом·м	1
Поляризуемость	$\eta$	—	%	—
Диэлектрическая проницаемость	$\epsilon$	—	—	—
Магнитная восприимчивость	$K$	—	—	1/4 $\pi \approx 0,079$
Намагниченность	$J$	А/м	—	10 <sup>-3</sup>
Напряженность магнитного поля	$H$	А/м	Э	12,57 · 10 <sup>-3</sup>
Скорость распространения упругих волн	$v$	м/с	м/с	1
Пьезомодуль	$d$	Кл/Н	аб. эл. ед. зар/дина	3 · 10 <sup>4</sup>
Теплопроводность	$\lambda$	Вт/(м·К)	кал/(см·с·°С)	2,5 · 10 <sup>-3</sup>
Удельная теплоемкость	$c$	Дж/(кг·К)	кал/(г·°С)	2,5 · 10 <sup>-4</sup>
Температуропроводность	$a$	м <sup>2</sup> /с	см <sup>2</sup> /с	10 <sup>4</sup>
Естественная радиоактивность	$I_\gamma$	А/кг	мкР/ч	13,94 · 10 <sup>12</sup>
Удельная объемная активность (концентрация по объему)	—	расп./(с·м <sup>3</sup> ) (Бк/м <sup>3</sup> )	эман	3,7 · 10 <sup>3</sup>
Эффективное поперечное сечение ядерных реакций	—	м <sup>2</sup>	барн	10 <sup>28</sup>

**УКАЗАТЕЛЬ ПРОВИНЦИЙ (П), БАССЕЙНОВ (Б),  
МАССИВОВ (МАС), ГРУПП (Г) И МЕСТОРОЖДЕНИЙ (М)  
НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ**

**Апатит**

- Волковское (м) 45
- Восточно-Саянская (п) 44
- Ессейское (м) 44
- Кручининское (м) 45
- Маган (мас) 44
- Маймеч-Котуйская (пр) 41, 44
- Маркопиджское (м) 45
- Ошурковское (м) 42, 44, 45, 47
- Покровское (м) 45
- Селигдарское (м) 12, 46
- Слюдянское (м) 46
- Стремигородское (м) 45
- Хибинский (мас) 4, 40, 43, 46, 47

**Асбест**

- Баженовское (м) 49, 50, 51, 52, 53
- Бильге (м) 51
- Бугетысайское (м) 54, 55, 56
- Каменушинское (м) 3
- Киембайское (м) 51
- Савелькульское (м) 54, 56
- Саянское (м) 49, 54
- Терсутское (м) 3

**Барит и виверит**

- Елы-Су (м) 61
- Кужинское (м) 17, 58, 59, 60, 61, 62
- Кузретское (м) 60
- Медведевское (м) 59
- Пальникское (м) 3, 59
- Пицикварское (м) 59
- Сувенир (м) 3
- Чур-Чури (м) 61

**Битум и озокерит**

- Садки (м) 65, 66
- Шугуровское (м) 65

**Волластонит**

- Алтын-Топканская (г) 72
- Койташское (м) 72, 74
- Саяк-1 (м) 72, 73

**Вулканические стекловатые породы**

- Арагацкое (м) 76
- Богопольское (м) 75, 76
- Мухор-Талинское (м) 76, 77
- Ташкескенское (м) 76, 77
- Фонтан-Джраберское (м) 76
- Чолонское (м) 76

**Гипс и ангидрит**

- Нижне-Баскунчакское (м) 78
- Прайнсфельд (м) 78
- Скайсткален (м) 80

**Глинистые породы**

- Ангренское (м) 87
- Ковдорское (м) 85
- Троицко-Байновское (м) 86
- Чардахлинское (м) 86

**Графит**

- Ботогольское (м) 89
- Завальевское (м) 92
- Курейское (м) 91, 92
- Призовский (мас) 92
- Рам-Джангл (м) 90
- Слюдянское (м) 89
- Тас-Казганское (м) 92
- Улурское (м) 92

**Камни самоцветные**

- Ватиха (м) 97
- Шайтанское (м) 98

**Камни строительные**

- Костомукшское (м) 105
- Монетное (м) 103
- Нижняя Шайтанка (м) 103
- Озерный (м) 103

**Карбонатные породы**

- Аккермановское (м) 114
- Веневское (м) 111

Кумас (м) 116  
Кунарское (м) 115, 116  
Мадаевское (м) 109  
Неверовское (м) 111  
Негребовское (м) 114  
Погореловское (м) 116  
Подгорное (м) 116  
Ритери (м) 115, 116  
Солдатская Ташла (м) 116  
Чаньвинское (м) 116  
Чатбазарское (м) 112, 116

#### **Кремнистые породы**

Джраздорское (м) 118  
Паракорское (м) 118

#### **Магнезит и брусит**

Верхотуровское (м) 123  
Гоlesh (м) 123  
Кульдурское (м) 120  
Савинское (м) 121, 122, 123, 124  
Саткинская (г) 123, 124, 125

#### **Пески и песчано-гравийные материалы**

Курземе (м) 131  
Овиши (м) 132

#### **Полевошпатовое сырье**

Хетоламбина (м) 136

#### **Природная сода**

Грин-Ривер (м) 137

#### **Пьезооптические минералы и жильный кварц**

Горихинский (мас) 144

#### **Сера самородная**

Загайпольское (м) 150, 151  
Малетойваямское (м) 3, 154, 155, 158  
Мацуо (м) 158  
Новое (м) 152, 156  
Подгорненское (м) 151  
Подороженское (м) 151  
Предкарпатский (б) 146, 147, 148, 149  
Тлумачское (м) 150, 151  
Шевченковское (м) 150

#### **Слюды**

Ковдорский (мас) 22, 166  
Ковдорское (м) 159, 161  
Лейвойва (м) 164

Мамско-Чуйская (п) 21, 34, 35, 159, 160,  
163, 166  
Потанинское (м) 167  
Тебинское (м) 167

#### **Соли минеральные**

Болеховское (м) 3, 170  
Бориславское (м) 3, 170, 172  
Велико-Белинское (м) 172, 173  
Верхнекамский (б) 174  
Верхнекамское (м) 174  
Долинское (м) 3, 170  
Нордвикское (м) 170  
Петриковское (м) 175  
Припятский (б) 174  
Солотвинский рудник 177  
Старобинское (м) 174, 175  
Тростянецкое (м) 3, 170

#### **Тальк, тальковый камень и пирофиллит**

Алгуйское (м) 177, 181  
Березовское (м) 182  
Веселянское (м) 3, 178  
Збраньковское (м) 181  
Медведевское (м) 182  
Нижне-Тагильский (мас) 180  
Правдинское (м) 178, 180, 181  
Чорчанская (г) 181

#### **Флюорит**

Агата-Чибаргатинское (м) 188  
Наугискенское (м) 188  
Оцолуйское (м) 188  
Суппаташ (м) 187  
Таскайнар-Южное (м) 188  
Улунтуйское (м) 3  
Шахтерское (м) 186

#### **Фосфориты**

Аосай (м) 199, 200  
Актюбинский (б) 190, 200, 201  
Белкинское (м) 192, 193, 195  
Босконское (м) 190, 197  
Джанытас (м) 199, 200  
Егорьевское (м) 200, 201  
Каратау (м) 197, 201  
Каратауский (б) 190, 200, 201  
Кингисеппское (м) 200  
Кнейфис (м) 198  
Кок-Су (м) 200

Корасынское (м) 191  
Лобковичи (м) 191, 199  
Маарду (м) 200  
Мстиславль (м) 191, 199  
Обладжанское (м) 191  
Поперечное (м) 196  
Прибалтийско-Ладожский (б) 190  
Симское (м) 3, 192  
Тамалыкское (м) 191  
Тастыкольское (м) 3, 192  
Тельское (м) 191, 192  
Тьесай (м) 200  
Удско-Селемжинская (г) 200  
Удско-Селемджинский (б) 190, 200  
Ухагольское (м) 190, 193, 196, 197

Хубсугульский (б) 190  
Чулук-Тау (м) 199

#### Шунгитсодержащие породы

Загогино (м) 202  
Мягрозеро (м) 203  
Нигозеро (м) 203

#### Целестин

Шерабадское (м) 207

#### Цеолиты

Айдагское (м) 209, 210  
Морденитовое (м) 208

Введение (П.В. Вишнеvский, Г.С. Вахромеев) . . . . .	3
Принципы выбора и обоснования комплексов геофизических методов исследований при прогнозе, поиске и разведке месторождений неметаллов (Г.С. Вахромеев) . . . . .	6
Использование материалов региональных геологосъемочных и геофизических работ (П.В. Вишнеvский, Г.С. Вахромеев, В.В. Бродовой, И.Л. Шаманский) . . . . .	11
Рекомендации по применению и комплексированию геофизических методов при поиске и разведке месторождений неметаллических полезных ископаемых (П.В. Вишнеvский, И.В. Дьячков, В.В. Бродовой, Г.С. Вахромеев, И.Л. Шаманский) . . . . .	24
Апатит (П.В. Вишнеvский, Г.С. Вахромеев, В.А. Гуревич) . . . . .	39
Асбест (А.А. Воздвиженский, Ю.Б. Давыдов, В.П. Бакаев, А.П. Бачин) . . . . .	48
Барит и виверит (В.А. Вассерман, А.А. Пацков) . . . . .	57
Битум и озокерит (П.М. Тиханов, И.А. Бареев) . . . . .	63
Бор (Л.В. Пинягина) . . . . .	68
Волластонит (О.Г. Столова) . . . . .	71
Вулканические стекловатые породы (В.Л. Баданов) . . . . .	74
Гипс и ангидрит (А.В. Терехов, Х.С. Брио, В.М. Куршс) . . . . .	77
Глинистые породы (В.Л. Баданов, Х.С. Брио, В.З. Гуревич, Ш.А. Далатказин, Д.С. Вагшаль, Ю.П. Карпов, В.М. Куршс) . . . . .	82
Графит (И.А. Бареев, Л.В. Пинягина, А.А. Ивлиев) . . . . .	88
Камни самоцветные (А.В. Терехов, Л.И. Елизаров) . . . . .	93
Камни строительные (В.А. Гуревич, В.А. Вассерман, Ш.А. Далатказин, М.В. — М. Пиявка, В.П. Савин) . . . . .	100
Карбонатные породы (И.В. Дьячков, Х.С. Брио, С.П. Васильюк, В.З. Гуревич, Ш.А. Далатказин, Г.В. Завадский, В.М. Куршс, М.В. — М. Пиявка, В.П. Савин) . . . . .	105
Кремнистые породы (В.А. Вассерман) . . . . .	117
Магнетит и брусит (Н.В. Богов, Г.С. Вахромеев, А.А. Глухов) . . . . .	119
Пески и песчано-гравийные материалы (Р.М. Мусин, П.В. Вишнеvский, Х.С. Брио, С.П. Васильюк, В.З. Гуревич, Ш.А. Далатказин, В.М. Полозков, В.М. Куршс, В.А. Петров, М.В. — М. Пиявка, В.П. Савин) . . . . .	126
Полевшпатовое сырье (И.А. Бареев, М.И. Голод, В.А. Меньшиков, В.А. Дягилев) . . . . .	133

Природная сода (Л.В. Пинягина, И.А. Зыков, Л.И. Родионов, А.Н. Шурвин) . . . . .	136
Пьезооптические минералы и жильный кварц (В.Л. Баданов, Г.С. Вахромеев, А.Я. Зюзин) . . . . .	140
Сера самородная (В.А. Вассерман, А.Э. Голлербах, С.В. Колодий, Г.П. Поморцев, Г.П. Яроцкий, Т.П. Поморцева) . . . . .	146
Слюды (И.А. Бареев, М.И. Голод, В.А. Меньшиков, В.А. Дягилев) . . . . .	158
Соли минеральные (Р.Е. Мансурова, Ю.В. Александров, М.К. Гнилко, И.А. Зыков, Ю.А. Шалин, А.И. Брытан, В.П. Капец, Л.П. Рогачева, Л.И. Родионов, Я.С. Салужак, В.И. Шамотко) . . . . .	167
Тальк, тальковый камень и пиррофиллит (Ю.Н. Медведев, А.А. Глухов) . . . . .	177
Флюорит (Л.В. Пинягина, Г.С. Вахромеев) . . . . .	182
Фосфориты (П.В. Вишневский, В.А. Гуревич, Г.С. Вахромеев, И.А. Зыков, М.А. Беляков) . . . . .	189
Шунгитсодержащие породы (А.В. Терехов, М.И. Голод, С.Я. Соколов) . . . . .	201
Целестин (Р.Е. Мансурова) . . . . .	204
Цеолиты (О.Г. Столова) . . . . .	207
Заключение (П.В. Вишневский, Г.С. Вахромеев) . . . . .	211
Список литературы . . . . .	213
Приложение 1 . . . . .	216
Приложение 2 . . . . .	218
Приложение 3 . . . . .	219

№ 1481

Получено в печать 18.11.83. Т-21814. Формат 60×20. Бумага офсетная № 1. Набор выполнен на наборном автомате типа МСМ. Компьютерная обработка текста. Уд. вес б. л. 14,0. Уд. вес с/л. 14,0. Уд. вес д. л. 18,48. "Унипресс". Печать офсетная. Уд. вес б. л. 14,0. Уд. вес с/л. 14,0. Уд. вес д. л. 18,48. Тираж 2800 экз. Заказ № 18812-2. Цена 1 д. 20 к.

Органа "Экспресс-Информ" издательство "Медиа" 103833 Москва, К-11, Третьяковская площадь, д. 119

Телерадиоинформационное предприятие "Экспресс-Информ" для обслуживания абонентов. По делам издательства, полиграфии и книжной промышленности. Тираж 2800 экз. Заказ № 18812-2. Цена 1 д. 20 к.

**ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОИСКОВ  
И РАЗВЕДКИ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ  
ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ**

Под редакцией *Павла Васильевича Вишневого,*  
*Гелия Сергеевича Вахромеева,*  
*Иосифа Львовича Шаманского*

Редакторы издательства: *А.И. Вороновская, Т.А. Ярмахова*

Переплет художника *К.В. Голикова*

Художественный редактор *В.В. Шутько*

Технический редактор *Л.С. Гладкова*

Корректор *К.И. Савенкова*

Оператор *Н.Я. Новикова*

ИБ № 4461

Подписано в печать 16.11.83. Т—21914. Формат 60×90<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная № 1. Набор выполнен на наборно-лithующей машине типа ИБМ "Композер". Гарнитура "Универс". Печать офсетная. Усл. печ. л. 14,0. Усл. кр.-отт. 14,0. Уч.-изд. л. 16,44. Тираж 2600 экз. Заказ 188. /8515—3. Цена 1 р. 20 к.

Ордена "Знак Почета" издательство "Недра", 103633, Москва, К-12, Третьяковский проезд, 1/19

Тульская типография Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли,  
г. Тула, проспект Ленина, 109.

Ep. 20th.

4257

1119A