

## ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА УЛЬТРАМАФИТОВ СЕВЕРНОГО УРАЛА

Т. А. Гороховатская

ОАО «Концерн «Созвездие»

На примере Юдинского геологического тела, входящего в концентрически-зональные пироксенит-дунитовые массивы Урала (КЗУМ), приводится методология решения нестандартных геофизических задач в условиях сложившейся природно-технической экосистемы. В публикации впервые в СДВ-диапазоне рассматриваются связи геологических аспектов ультрамафитов с их геофизическими характеристиками.

В условиях вновь образованной природно-технической системы впервые для СДВ диапазона выполнены измерения геоэлектрических и магнитных параметров ультрамафитов. Геофизические наблюдения проведены с целью выявления тенденций и определения закономерностей между геофизическими характеристиками и аспектными свойствами изучаемых ультрамафитов. В процессе проведения работ у исследователей появились актуальные вопросы и возникали неординарные проблемы. Автор данной публикации делится опытом и излагает свое представление об исследованиях такой направленности.

Чем сложнее объект изучения, тем больше элементов (аспектов), явлений и ситуаций он содержит. Под структурой подразумеваем не только узко направленное понятие связей отдельных кристаллов, слагающих породу, но и совокупность связей свойств горных пород и отношений их между собой. Предметно рассмотрим структуру Юдинского тела, входящего в пояс концентрически-зональных пироксенит-дунитовых массивов Урала (КЗУМ).

В районе исследований отмечается повышенная трещиноватость горных пород, как правило, сопровождающаяся «залеченностью» трещин серпентинами, амфиболами, кальцитами и т.п. Зона открытой трещиноватости обладает соответственно повышенной степенью обводненности. Изучая кальмату в каждом конкретном случае, мы прослеживаем связи между (причиной) — трещиноватостью и степенью изменения геофизических характеристик (следствием).

В таблице 1 приводятся геофизические характеристики исследуемых горных образований.

В обводненных зонах открытой трещиноватости отмечаются повышенные значения диэлектри-

ческой проницаемости ( $\epsilon$ ), изменения которых на верхней границе СДВ диапазона могут составлять разы. Значения электрической проводимости ( $\sigma$ ), на нижней границе диапазона могут изменяться на один, а в отдельных случаях на два порядка.

В областях «залеченных» трещин горные породы, напротив, имеют пониженные значения диэлектрической проводимости. Связь структурных свойств горных пород с изменением значений электрической проводимости весьма неоднозначна и сложна.

Остановимся на процессе кальцитизации интрузивных отложений. Аномальные понижения значений магнитной проницаемости  $\mu$  (рис.1) на графиках соответствуют участкам переотложения минерального кальцита (Ca) и карбонатов ( $\text{CaCO}_3$ ). На таких участках параметр  $\epsilon$  варьируют в широком диапазоне значений, величина электрической проводимости ниже средних значений аналогичных горных разностей.

В пределах площади исследований широко распространен процесс серпентинизации. Связь между геологическими изменениями и геофизическими характеристиками из-за степени переработки материнских пород и типа серпентинизации не закономерна. Отчего величины изменений геофизических характеристик в первом приближении не поддаются логической оценке.

В природе, как правило, отдельно выделенное явление или процесс изменения горной породы никогда не встречаются. В геологическом разрезе связи являются причинно-следственными факторами. В каждом конкретном случае можно говорить только о доминирующем значении одного из них. Кроме того, по мере строительства горного сооружения отмечается и усиливается влияние техногенного фактора на ускорение некоторых природных процессов.

Геофизические характеристики исследуемых горных образований

Название породы	F, у.е. при определении $\epsilon$ и $\sigma$	$\sigma^*$ , См/м естественная влажность	$\sigma^*$ , См/м влажность после хранения	$\epsilon^*$ естественная влажность	$\epsilon^*$ влажность после хранения	$\mu$ ( $\mu$ ) средняя	grad $\epsilon$ ( $\epsilon_{0,1}/\epsilon_{1,5}$ ); grad $\sigma$ ( $\sigma_{0,1}/\sigma_{1,5}$ )
Дунит м/з, с/з, слабо трещиноватый	0,1 у.е.	$1,5 \div 3 \cdot 10^{-5}$	$0,5 \div 1,2 \cdot 10^{-5}$	50÷90	10÷45	1,005÷	$\approx 5$ ;
	1,5 у.е.	$7 \div 12 \cdot 10^{-5}$	$4,0 \div 5,5 \cdot 10^{-5}$	18÷22	10÷20	1,006	9,5÷11
Дунит серпентинизированный	0,1 у.е.	$1,2 \div 2 \cdot 10^{-5}$	$> 1 \cdot 10^{-5}$	45÷81	10÷45	>1,010	3,5÷4,5;
	1,5 у.е.	$1 \div 3 \cdot 10^{-4}$	$1 \div 3 \cdot 10^{-5}$	8÷20	15÷20		16,5÷17,5
Серпентинит (черный)	0,1 у.е.	$0,8 \div 1,5 \cdot 10^{-5}$	$0,8 \div 1,5 \cdot 10^{-5}$	80÷120	50÷20	1,010÷	3÷3,5;
	1,5 у.е.	$2 \div 3,5 \cdot 10^{-4}$	$0,6 \div 1,1 \cdot 10^{-4}$	20÷25	30÷25	1,015	16,5÷17,5
Дунит с вкраплениями рудных минералов	0,1 у.е.	$0,35 \div 2,4 \cdot 10^{-5}$	$0,4 \div 1 \cdot 10^{-6}$	40÷85	25÷40	1,010÷	3÷4;
	1,5 у.е.	$10 \div 15 \cdot 10^{-4}$	$3 \div 5 \cdot 10^{-5}$	15÷20	8÷10	1,055	11÷12,5
Дунит с вкраплениями кальцитов и амфиболов	0,1 у.е.	$1 \div 1,3 \cdot 10^{-5}$	-	35÷45	—	1,002÷	3,5÷4;
	1,5 у.е.	$5 \div 6,5 \cdot 10^{-5}$	-	7÷11	—	1,007	5÷6
Дунитовые разности из динамически активных зон:	0,1 у.е.	$< 1 \cdot 10^{-5}$	а)	50÷75	—	1,005÷	3,5÷5,5;
	1,5 у.е.	$10 \div 20 \cdot 10^{-5}$	-	10÷20	—	1,015	7,5÷8,5
а) открытая	0,1 у.е.	$0,5 \div 1 \cdot 10^{-5}$	$0,65 \div 1,3 \cdot 10^{-5}$	20 ÷ 50	0,5÷0,75	1,002÷	4,5÷6;
б) закрытая	1,5 у.е.	$2 \div 10 \cdot 10^{-5}$	$2 \div 3 \cdot 10^{-5}$	7÷13	7÷8,5	1,055	5,5÷7

\* Приведены значения  $\sigma$  и  $\epsilon$  для образцов керна скважин М8/2, М8/4. Измерения выполнены измерительным конденсатором № 2

В условиях установившейся природно-технической среды назрела потребность в выработке концепции проведения геологических, гидрогеологических, инженерно-геологических и геофизических исследований.

Из опыта методология комплексных геолого—геофизических работ должна состоять из взаимосвязанных перманентных этапов.

На первом и втором этапах исследований Юдинское геологическое тело изучалось в его современном пространственном состоянии (типы горных пород по составу и структуре), выполнялась статистическая обработка результатов. Аспективные свойства горных пород, вызывающие геофизические аномалии, выделялись и анализировались. Например, набирались статистические



Рис. 1. Аномальные понижения значений магнитной проницаемости  $\mu$  на участке переотложения минерального кальцита (Ca) и карбонатов (CaCO<sub>3</sub>)

данные о геоэлектрических и магнитных свойствах горных образований по разрезу конкретной скважины. Изучались тенденции и взаимосвязи в изменении геологических свойств с геоэлектрическими и магнитными характеристиками каждой из выделенной геологической разности. В пределах площади исследований прослеживались выделенные аномальные (реперные) участки.

Отмечено, что изменение значений геофизических параметров с ростом частоты, на которой проводились измерения, отражают сложную зависимость значений  $\epsilon$ ,  $\sigma$ ,  $\mu$  не столько от литологического состава и структурно-текстурных особенностей образцов горных пород, а сколько от степени влагонасыщенности и качества «залеченности» зон трещиноватости.

Установлено, что в СДВ диапазоне разные по литологическому составу породы, имеют одинаковые или близкие по величине значения геофизических параметров. Однотипные горные породы на низких частотах измерений могут иметь на порядок или более отличные геоэлектрические характеристики.

Протодуниты и клинопироксениты с ростом частоты, как правило, равномерно и в одинаковой степени уменьшают значения  $\epsilon$ , одновременно, увеличивая значения параметра  $\sigma$ .

Однако отмечено, что степень изменения значений  $\epsilon$ ,  $\sigma$  имеет определенную связь со степенью метаморфизма наблюдаемых разностей.

По результатам измерений, выполненных на 200 образцах керна, построены графики. По оси X откладываются значения частоты  $f$  в условных единицах (у.е.), на которой выполнены измерения, на оси Y — значения геоэлектрических параметров  $\epsilon$  или  $\sigma$ . Для протодунитов, пироксенитов, магнетитовых пироксенитов и сильно трещиноватых дунитов на рис. 2 приведены зависимости значений электрической проводимости и диэлектрической проницаемости от частоты. Степень и характер изменений значений  $\epsilon$  и  $\sigma$  сложный и пока не поддается логическому анализу. Удалось проследить несколько тенденций, характерных для описываемой группы ультрамафических пород.

Во-первых, резкие изменения значений параметров  $\epsilon$  и  $\sigma$  так называемые «широкие ворота» на графиках (рис. 2г и 2з) отмечены для образцов керна, обладающих высокой и очень высокой степенью трещиноватости. Трещины, как правило, открытые, незалеченные вторичными минералами.

Во-вторых, на графиках видно, что электрические параметры магнетитовых и титаномагнетито-

вых пироксенитов слабо зависят от частоты тока измерений, а в отдельных случаях (высокая концентрация магнетита) частотная зависимость отсутствует (рис. 2в и 2ж).

В процессе исследований выделены разновидности горных пород, обладающие значительной степенью анизотропии.

В сильно трещиноватых породах, слабо серпентинизированных дунитах и магнетитовых пироксенитах геоэлектрические параметры, измеренные в 2-х, 3-х, 4-х и 8-ми направлениях имеют достаточно широкий диапазон значений  $\epsilon$  и  $\sigma$ . На отдельных образцах керна изменения величин  $\epsilon$  и  $\sigma$  достигают 30, 40, а в отдельных случаях 45—50 % (рис. 3). С изменением частоты эксперимента на полярных диаграммах, отражающих пространственное изменение параметров  $\epsilon$  и  $\sigma$ , отмечается в одном или нескольких направлениях асимметрия значений. По-видимому, направления анизотропии характеризуют направления структурных неоднородностей, а также особенности текстурного строения локального объекта исследований и, конечно же, изменение доминирующего вида поляризации. Экстремальные значения параметров  $\epsilon$  и  $\sigma$  отражают наибольшую степень структурных изменений горных пород и тип поляризации (электронный, ионный и т.д.). Данный вопрос требует отдельного анализа и будет опубликован в последующих работах.

На втором этапе изучалась степень влияния естественной влажности в условиях повышенной разрушенности скальных образований.

В настоящее время:

1. Собрана статистика для изучения степени влияния естественной влажности на геоэлектрические характеристики дунитовых и пироксенитовых разностей. На рис. 4 приведены графики изменения значений геоэлектрических параметров горных пород по мере потери ими естественной влаги.

2. Изучается влияние степени и качества серпентинизации на геоэлектрические и магнитные параметры ультрамафических образований. Отмечено, что черные серпентиниты обладают повышенными значениями  $\mu$ ,  $\epsilon$ ,  $\sigma$ . Коричневые серпентиниты, а также ненарушенные или слабо измененные дуниты имеют соразмерные значения параметров  $\mu$ ,  $\epsilon$ ,  $\sigma$ .

Таким образом, можно констатировать, что после первых статических этапов у исследователей появилось общее понимание связей свойств геологического объекта и вызванных ими изменений геофизических характеристик.

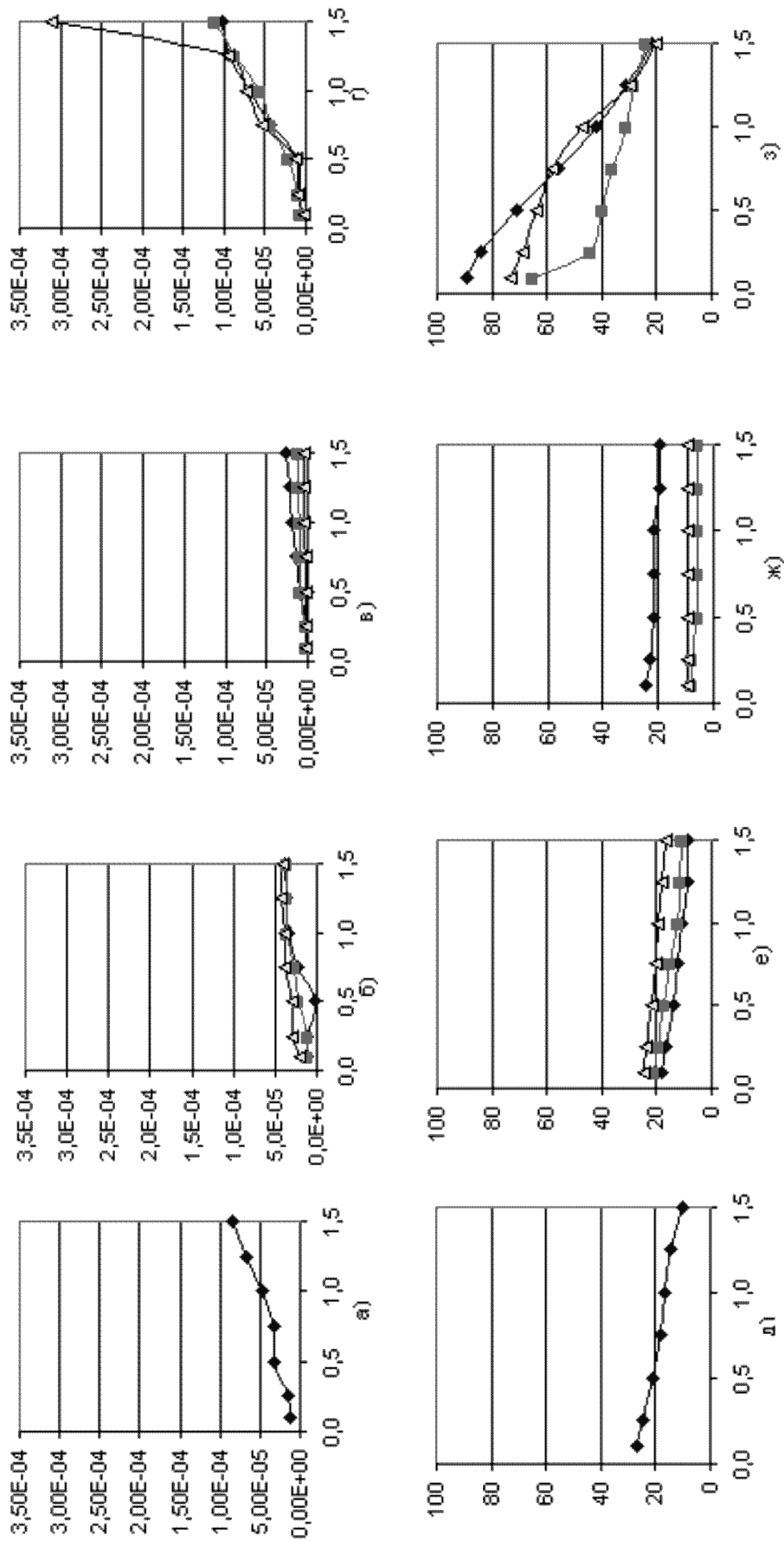


рис. 2. Зависимости значений электрической проводимости и диэлектрической проницаемости от частоты тока  $f$  (у.е.) для различных типов пород: а) и д) соответственно для прогудунитов; б) и е) соответственно для пироксенита; в) и ж) соответственно для магнетитового пироксенита; г) и з) соответственно для сильно трещиноватого дунита

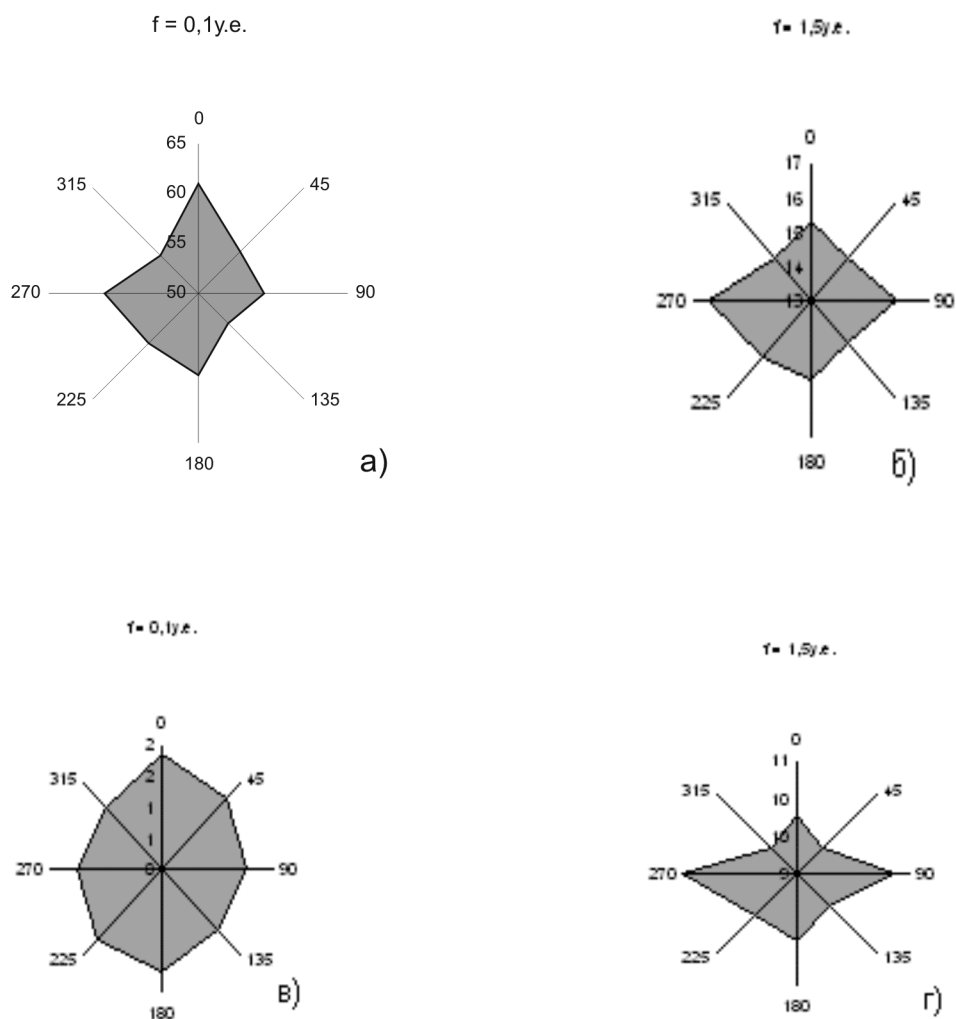


Рис. 3. Анизотропия геоэлектрических параметров в средне трещиноватых породах: а), б) — электрическая проводимость соответственно для частот  $f = 0,1$  и  $1,5 \text{ y.e.}$ ; в), г) — диэлектрическая проницаемость соответственно для частот  $f = 0,1$  и  $1,5 \text{ y.e.}$

Главной цели геофизических исследований алгоритма, отражающего связь структурно-литологических свойств ультраосновных пород Юдинского геологического тела с априори известными геоэлектрическими и магнитными параметрами, создать не удалось.

Задачи современного (третьего) и будущего (четвертого) этапов исследований должны иметь динамический характер «от ретроспективы до перспектив». Появляется необходимость рассматривать Юдинский плутон в историческом ракурсе, с учетом техногенных факторов складывающейся экосистемы.

Решение задач весьма специфично и осуществляется системно, исключительно логическими методами.

Идеология системного подхода заключается в том, что в начале работы принимается рабочая гипотеза образования горного объекта. Потом в ходе наблюдений, накапливаются статистические данные по свойствам горных пород, слагающих геологическое тело. Затем проводятся эксперименты, выявляющие связи между определенными свойствами. Кроме того, изучается динамика процесса формирования горных пород и последующих вторичных изменений. Наконец, осуществлялся ретроспективный анализ: проводится поиск корреляционных зависимостей, которые могли подтвердить (уточнить) рассматриваемую рабочую теорию или при необходимости заменить ее новой моделью.

Первоначально в основу геологической модели Юдинского тела была заложена гипотеза очагово-

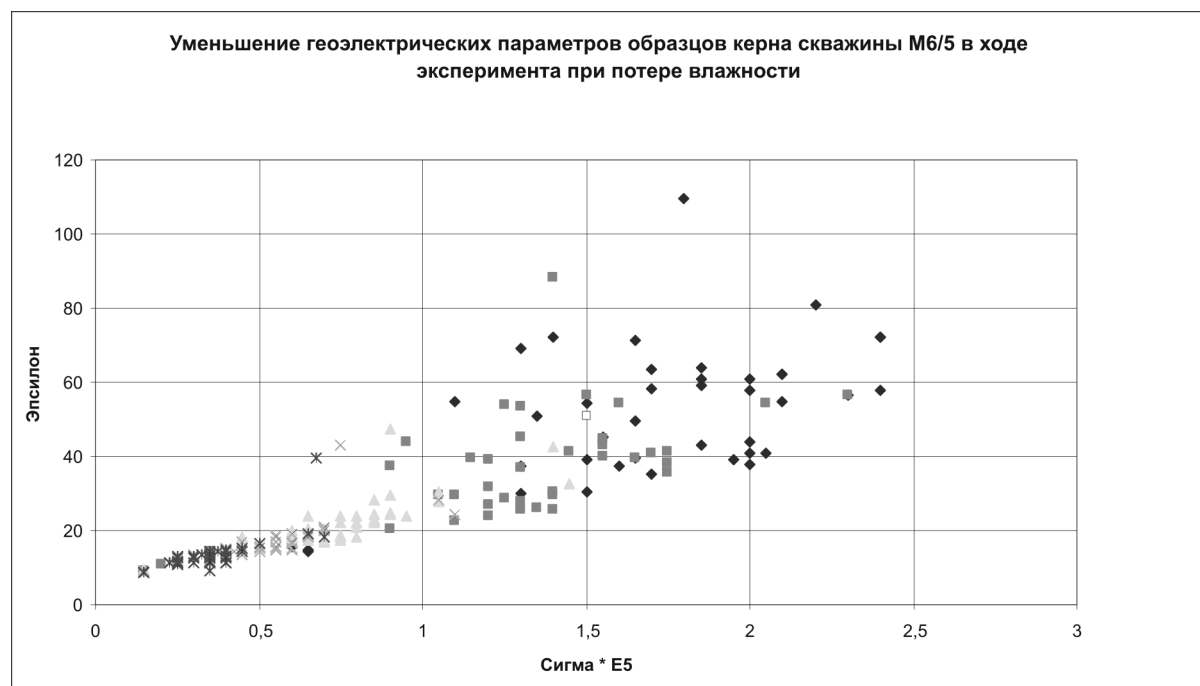


Рис. 4. Графики изменения значений геоэлектрических параметров горных пород по мере потери ими естественной влаги

го внедрения ультраосновной магмы. Плутон неоднократно претерпевал мелкоочаговые инъекции магматического материала, которые вызвали образование зон повышенной трещиноватости, динамические (блоковые) нарушения. Это приводило к появлению повышенной энергетики (температуры), достаточной для последующих процессов серпентинизации. По зонам открытой трещиноватости циркулировали подземные воды, что приводило к выносу, переносу и переотложению вторичных минералов (кальцитизация, ожелезнение...). В данной модели в силу логических построений укладывалось представление о наибольшей нарушенности периферической части Юдинского тела. Очаг материнских пород медленно остывал, более крупнозернистые дуниты, таким образом, приуроченные геометрически к центральным частям тела, представлялись более сохранными, т.е. менее метаморфизованными (низкая степень серпентинизации, менее обводнены из-за незначительной степени трещиноватости). Окаймляющая часть Юдинского тела, представленная в гипотезе пироксенитами, наиболее разрушена и метаморфизована. Пироксениты в рамках модели имели магматический генезис. Внедрение пироксенитов (Ptx) происходило одновременно с дунитами (Du). В краевых частях потеря внутренней энергии Земли происходила гораздо быстрее и как, следствие,

геологами предполагались наиболее сложные условия образования пород, их широкий диапазон структурных разновидностей.

Однако, по мере накопления материалов и анализа результатов проведенных буровых, геологических, небольшого объема гидрогеологических работ и геофизических исследований возникали противоречия в рамках принятой выше модели. Возникающие в ходе исследований вопросы и проблемы не объяснялись логическими заключениями рабочей гипотезы.

В принятой концепции о структурно-блоковом строении Юдинского плутона уже на этапе накопления статистической информации возникали неразрешимые вопросы и противоречия.

В геологических разрезах отмечалось большое количество разновидностей дунитов, которое приводило к широкому диапазону изменений параметров  $\epsilon$ ,  $\sigma$ ,  $\mu$ . Пироксениты, приуроченные к краевым частям Юдинского тела, напротив, имели значительно меньше разновидностей, а, следовательно, узкий интервал значений геоэлектрических характеристик. Установлено, что степень серпентинизации и другие метаморфические изменения не зависят от места расположения скважин относительно центра Плутона. Аномальные значения геофизических параметров имеют однозначно циклический характер,

отражая, по-видимому, ритмичность распространения взаимосвязанных во времени и в пространстве геологических процессов.

Разрезы горизонтально пробуренных скважин (отбор kernового материала составлял ~ 90 %) отмечают, что динамические и инъекционные процессы повторялись с определенной частотой. В пределах геологического тела ритмичность метаморфических изменений практически не зависит от места залегания скальных образований.

Группа ультраосновных пород дунит-перидотит-пироксенитового ряда имеет незначительные отличия в химическом составе, что не может объяснять широкий спектр геоэлектрических и магнитных свойств.

Концепция образования КЗУМ [1] напротив позволяет объяснить результаты первых этапов исследований. В модели КЗУМ протодуниты неоднократно перекристаллизовывались. Однако, достаточная для перекристаллизации и серпентинизации энергия возникала не от магматической инъекции, а в процессе трения при динамических подвижках Уральской складчатой страны. Практически все дунитовые разности Юдинского тела в разной степени серпентинизированы. Степень и тип серпентинизации зависел только от литологического состава протодунитов, что вызывает широкий спектр значений геоэлектрических и магнитных параметров. Генезис клинопироксенитов несколько иной. Пироксениты по теории [1] — переработанные под действием магматических пород вмещающие осадочно-вулканогенные образования. Поэтому пироксениты обладают меньшей изменчивостью и узким спектром значений  $\mu$ ,  $\epsilon$ ,  $\sigma$ .

В настоящее время за счет горной проходки и бурения технологических скважин происходит интенсивное дренирование геологического массива, увеличивается степень трещиноватости и изме-

няется естественная гидродинамика подземных вод, что существенно влияет на развитие физико-геологических процессов и меняет инженерно-геологические условия, т.е. физические и геофизические свойства горных пород.

При решении нестандартных технических задач в условиях сложившегося природно-техногенного объекта необходимо контролировать процессы гидродинамической и тектонической активности [2].

Четвертый этап исследований должен выявлять процессы гидродинамической и тектонической активности. Изучать динамические изменения во времени.

При изучении геофизических характеристик ультрамафитов Северного Урала в пределах вновь образованной природно-технической экосистемы получены следующие результаты:

1. Впервые в СДВ диапазоне опубликованы значения электрической проводимости и диэлектрической проницаемости ультрамафитов Северного Урала.

2. Установлены закономерности и определены тенденции взаимосвязи геологических свойств горных пород с геофизическими характеристиками.

3. Применена перманентная методология исследований в условиях строящейся природно-технической экосистемы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Иванов О.К.* Концентрически-зональные пироксенит-дунитовые массивы Урала Екатеринбург, Изд-во Уральского университета, 1997.
2. *Зинюков Ю.М.* Теоретико-методологические основы организации мониторинга природно-технических экосистем на основе их структурно-иерархических моделей. Труды Научно-исследовательский институт геологии. Воронеж, 2005. Вып. 28.