

## ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ УЛЬТРАМАФИЧЕСКИХ ПОРОД НА ПРИМЕРЕ ЮДИНСКОГО ТЕЛА КОСЬВИНСКОГО КЛИНОПИРОКСЕНИТ-ДУНИТОВОГО МАССИВА

Т. А. Гороховатская

ОАО «Концерн «Созвездие»

Рассмотрены в СДВ диапазоне значения диэлектрической проницаемости и электрической проводимости ультрамафических пород Юдинского тела, входящего в состав пироксенит-дунитового массива классического Платиноносного пояса Урала. Отмечены закономерности изменения геоэлектрических характеристик и связь со структурно-текстурными особенностями изученных ультрамафитов.

Под Платиноносным поясом Урала понимается цепь сложных массивов дунит-габбро-плагиогранитного состава, расположенных вдоль западного борта Тагильского синклиория. В пределах пояса выделяются 13 интрузивных комплексов с приуроченными к ним 35-ю концентрически-зональными пироксенит-дунитовыми массивами Урала (КЗУМ).

Рассмотрим восточную часть Косьвинского массива — Юдинское дунитовое тело, имеющее размеры 3,0×2,4 км.

Значительная часть Юдинского тела (2,3×2,4 км) сложена мелкозернистыми дунитами и только в центральной части ядра (0,48×0,15 км) отмечены несколько участков среднезернистых дунитов.

По периферии, особенно в местах выклинивания дунитов, располагается кайма тонкозернистых дунитов размерами 1,0×0,5 км, а на контакте с пироксенитами — кайма диоксидсодержащих дунитов, ширина которой достигает 200 м.

Близ контактов в поле протодунитов и мелкозернистых дунитов установлено 6 «нашлепок» пироксенитов или верлитов размерами до 0,3×0,25 км. Останцы имеют стандартное зональное строение с внешней зоной верлитов или оливиновых пироксенитов и внутренней, сложенной мономинеральными клинопироксенитами.

Клинопироксенитовая оболочка Юдинского тела имеет также зональное строение: от оливиновых клинопироксенитов — внутренней зоны, через мономинеральные до магнетитовых — в периферической части. Ширина зон достигает величин 0,4; 0,5 и 0,25 км соответственно.

Переходы между дунитами и клинопироксенитами постепенные, через верлиты, с останцами пироксенов на дунитах и «окнами» дунитов среди пироксенитов [1].

Геофизические работы в рассматриваемом районе проводились, в основном, на постоянном токе. Исследования выполнялись методами ВЭЗ (вертикальное электрическое зондирование), ГИС (геофизическое исследование скважин), РЭМП (метод электромагнитного профилирования) и РЭМЗ (метод электромагнитного зондирования). Незначительное количество проб измерено в лабораторных условиях на частотах, не превышающих 100; 1000 и 10000 Гц. Значения геоэлектрических параметров горных пород носили оценочный характер.

С 1997 года в пределах Юдинского тела проводятся целенаправленные измерения диэлектрической проницаемости ( $\epsilon$ ) и электрической проводимости ( $\sigma$ ), а с 2001 года и магнитной проницаемости ( $\mu$ ) пироксенит-дунитовых разностей. Измерения выполнялись в условиях максимально приближенных к естественным условиям залегания. До 2005 года измерения выполнены на >10000 образцах керна. До настоящего времени ультраосновные породы в естественных условиях залегания геофизическими методами в СДВ диапазоне ( $3 \cdot 10^3 - 3 \cdot 10^4$  Гц) не изучались. Измерения проводились на частотах, равномерно распределенных по диапазону измерительного прибора: измеритель радиопомех типа NMLZ-4/50. Геофизические характеристики дунитов и пироксенитов, опубликованные в [2], приведены в таблице 1. Результаты выполненных измерений и представлены в таблицах 2, 3.

По приведенным результатам отмечается закономерное изменение значений параметров

Таблица 1

Геофизические характеристики ультрамафических пород

Условия проводимых измерений	Относительная диэлектрическая проницаемость $\epsilon$	Удельная проводимость $\sigma \cdot 10^5$ , Сим/м
Частота, кГц	1	Постоянный ток
Горная порода (г.п.) сухая диапазон измерения	12–23	0,02–0,08
Г.п.воздушно-сухая диапазон измерений	—	0,017–0,095
Г.п. водонасыщенная диапазон измерений	—	2,63–3,24

Таблица 2

Геофизические характеристики ультрамафических пород Юдинского тела  
Первая группа скважин

Параметр	Относительная диэлектрическая проницаемость $\epsilon$						Удельная проводимость $\sigma \cdot 10^5$ , Сим/м					
	1	2,5	5	7,5	10	15	1	2,5	5	7,5	10	15
Частота												
Среднее значение	37,6–47,0	26,9–34,0	19,8–25,2	16,9–21,2	15,1–19,0	13,3–16,5	1,2–1,4	2,4–3,0	3,7–4,7	4,6–6,0	5,2–6,9	6,0–8,4
Стандартное отклонение	10,8–13,6	9,8–13,0	8,3–11,3	7,0–9,9	6,2–9,0	5,1–7,5	0,2–0,4	0,6–0,8	1,0–1,4	1,5–2,0	2,0–2,6	2,8–3,8

Таблица 3

Геофизические характеристики ультрамафических пород Юдинского тела  
Вторая группа скважин

Параметр	Относительная диэлектрическая проницаемость $\epsilon$						Удельная проводимость $\sigma \cdot 10^5$ , Сим/м					
	1	2,5	5	7,5	10	15	1	2,5	5	7,5	10	15
Частота												
Среднее значение	19,1–21,0	16,7–18,2	15,4–16,6	14,7–15,7	14,1–15,2	13,7–14,5	0,6	0,8–0,9	1,1–1,3	1,4–1,6	1,7–1,9	2,0–2,4
Стандартное отклонение	10,2–10,7	8,6–9,3	0,7–0,8	6,9–7,8	6,7–7,7	6,1–7,4	0,2–0,3	0,4	0,7–0,8	1,0	1,2–1,3	1,6–1,7

$\epsilon$  и  $\sigma$  практически для всех разновидностей горных пород:

– с увеличением частоты измерений значения диэлектрической проницаемости уменьшаются, а величины электрической проводимости напротив – увеличиваются;

– степень изменения величин геоэлектрических параметров проявляется по-разному и для разных типов ультрамафических пород имеет характерные отличия.

Величины параметров  $\epsilon$ ,  $\sigma$  и  $\mu$  зависят не столько от свойств самих породообразующих минералов, сколько от их структурно-текстурных особенностей, от степени вторичных изменений горных образований (перекристаллизации, серпентинизации, кальцитизации и т. д.). Существенное влияние на геоэлектрические параметры оказывает степень их естественной влажности. В качестве примера на рис. 1 для частоты 15000 Гц приведены графики зависимости геофизических характеристик горных

пород по двум группам скважин с разной степенью влажности.

Остановимся на структурно-текстурной характеристике горной породы как факторе, вызывающем изменения геоэлектрических параметров ультрамафитов.

Ивановым О. К. [1] выделено несколько разновидностей (типов) дунитов. За основу типизации дунитов им принималось соотношение размеров главных породообразующих минералов: индивидов оливина и хромшпинелида. На рис. 2 представлены соотношения размеров индивидов оливина и хромшпинелида для разных типов дунитов по трем массивам КЗУМ. На рис. 3 соотношение размеров индивидов оливина и хромшпинелида в разных типах дунитов.

По соотношению размеров индивидов оливина и хромшпинелида четко выделяется пять групп точек.

Для протодунитов (неизмененных-материнских) характерны стабильные соотношения

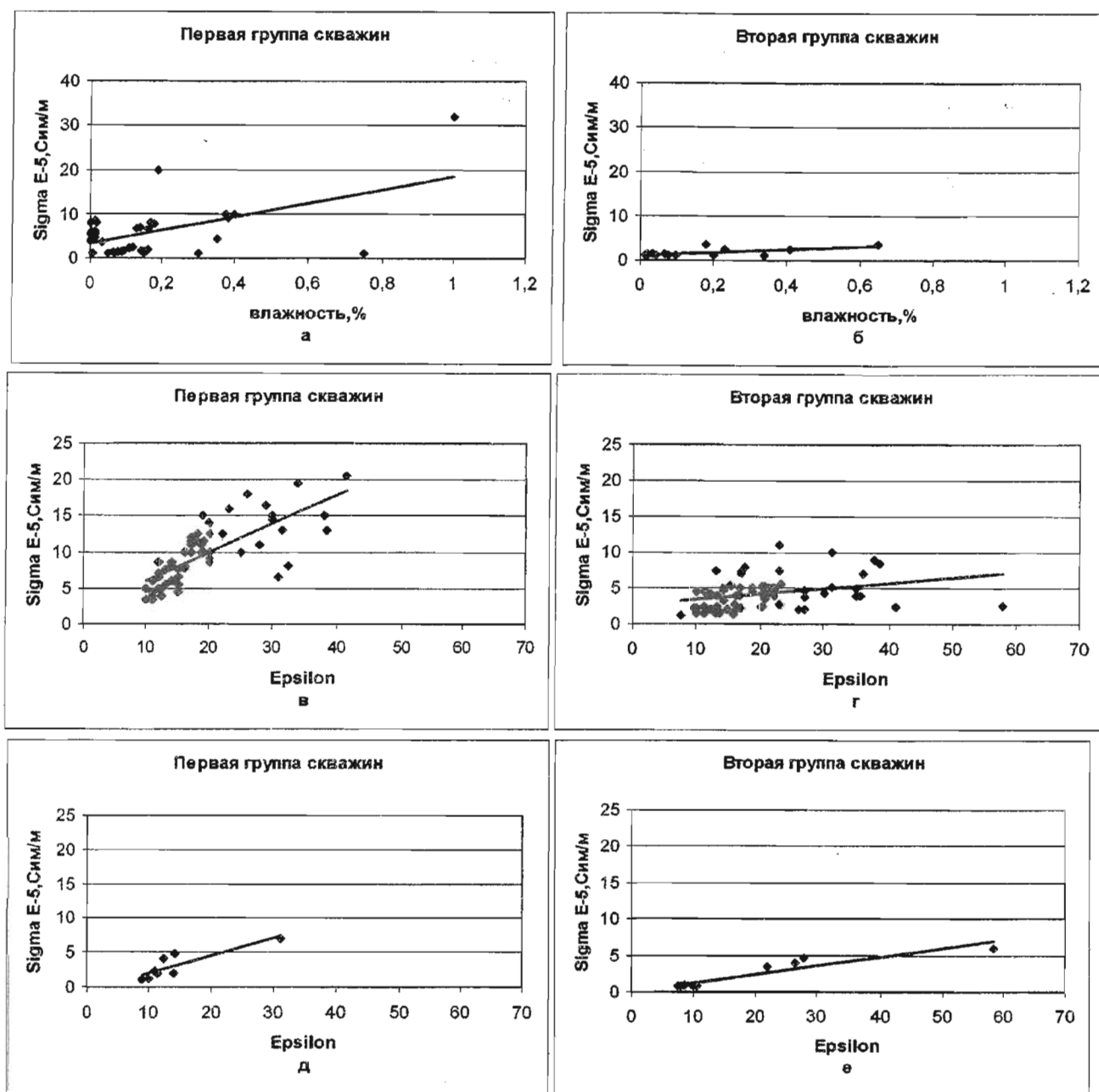


Рис. 1. Геофизические характеристики ультрамафитов: а — значения электрической проводимости с вынесенной линией тренда при разной степени влажности ультрамафитов первой группы скважин, б — значения электрической проводимости с вынесенной линией тренда при разной степени влажности ультрамафитов второй группы, в — значения электрической проводимости и диэлектрической проводимости, измеренные в естественных условиях, с вынесенной линией тренда для первой группы скважин, г — значения электрической проводимости и диэлектрической проводимости, измеренные в естественных условиях, с вынесенной линией тренда для второй группы скважин, д — значения электрической проводимости и диэлектрической проводимости, измеренные после принудительных просушек, с вынесенной линией тренда, для первой группы скважин, е — значения электрической проводимости и диэлектрической проводимости, измеренные после принудительных просушек, с вынесенной линией тренда, для второй группы скважин

размеров оливина (1—2 мм) и хромшпинелида (0,1—0,2 мм).

Для первично перекристаллизованных дунитов и дунит-пегматитов характерно синхронное увеличение размеров зерен оливина и хромшпинелида соответственно до 20—30 см и 10 мм, подтверждающее равновесные условия их образования.

Для подавляющего большинства дунитов не наблюдается линейной зависимости между размерами оливина и хромшпинелида. Более того, с увеличением размера зерен хромшпинелида средний размер индивидов оливина сохраняется в пределах 1,5—5,0 мм. Все перечисленные дуниты относятся к типу рекристаллизованных, образовавшихся по постмагматически перекристаллизованным дунитам. Предложенная диаграмма позволяет даже по единичным образцам зерна типизировать дуниты Юдинского тела. Аналогичная картина наблюдается на диаграммах геоэлектрических параметров.

На рис. 1 приведена аппроксимация значений диэлектрической проницаемости ( $\epsilon$ ) и электрической проводимости ( $\sigma$ ) при естественной влажности разновидностей дунитов по двум выделенным группам скважин [3]. Горизонтальные скважины расположены в Юдинском плутоне на глубине 350 м. В первую группу скважин вошли скважины, проходящие по массиву дунитов в восточном направлении из центральной части (ядра) Юдинского тела к его периферии. Во вторую группу скважин объединены скважины западного направления, которые пересекают периферийную часть собственно дунитового тела и окаймляющую клинопироксенитовую оболочку.

Первая группа скважин проходит по зонам, в наибольшей степени подверженным постмагматическим изменениям, преимущественно по среднезернистым дунитам. Вторая группа скважин пересекает более мелкозернистые разности. Структурно-текстурные характеристики ультрамафитов из первой группы скважин по сравнению с горными образованиями второй группы скважин следующие: более высокая степень пористости и, следовательно, степень влагоемкости. Кроме того, степень и качество метаморфических изменений в первой и второй группе скважин имеет иную природу. Таким образом, геофизические характеристики, приведенные на рис. 1 а, б не противоречат, а соответствуют существующей геологической легенде: измене-

ния степени зернистости от ядра к периферии геологического тела (рис. 2, 3).

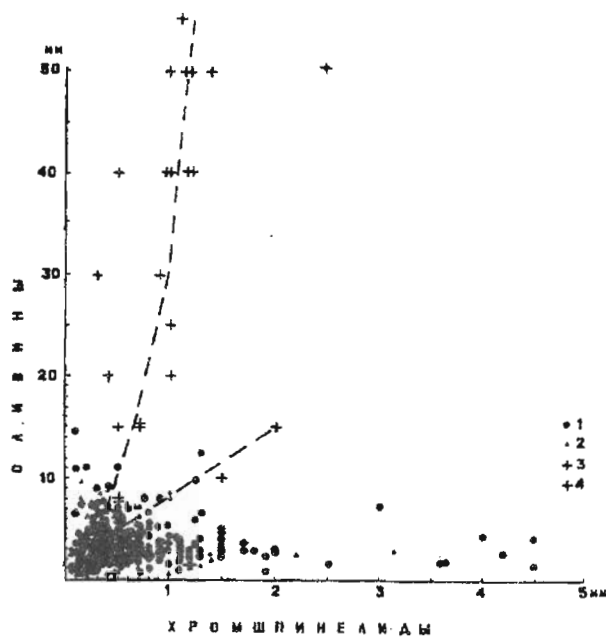


Рис. 2. Соотношение размеров индивидов оливина и хромшпинелида в разных типах дунитов: 1 — дуниты Нижнетагильского массива; 2 — Иовского тела; 3 — штубахитизированные Вересовоборского массива; 4 — дунит-пегматиты Нижнетагильского массива. Штриховые линии — соотношения в постмагматических перекристаллизованных дунитах

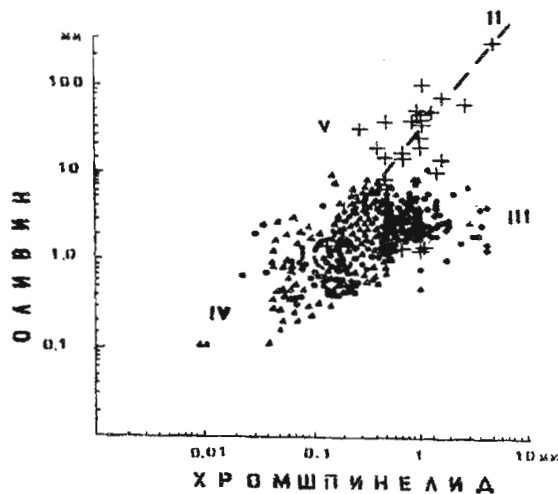


Рис. 3. Соотношение размеров индивидов оливина и хромшпинелида в разных типах дунитов: 1 — дуниты вторично перекристаллизованные; 2 — первично перекристаллизованные; 3 — постмагметические-перекристаллизованные; 4 — дуниты-пегматиты; поля: I — протодунитов; II — дунитов первично перекристаллизованных; III — вторично рекристаллизованных; IV — рекристаллизованных; V — вторично перекристаллизованных

Изменения текстурных свойств изучаемых образований, вскрытых обеими группами скважин, четко отражаются в разности углов наклона вдоль линии регрессивной кривой, а также просматриваются в степени компактности обоих кластеров.

Можно предположить, что в естественных условиях залегания структурно-текстурные особенности ультрамафитов являются одним из главных факторов, влияющих на геоэлектрические характеристики.

По мере удаления влаги величины геоэлектрических параметров  $\alpha$ ,  $\beta$  диэлектрической проницаемости ( $\epsilon$ ) и электрической проводимости ( $\sigma$ ) смещаются в область малых значений (рис. 1 в, г, д, е), где образуют плотную компактную группу. Измеренные значения диэлектрической проницаемости и электрической проводимости высушенных дунитовых разностей Юдинского тела аналогичны значениям геоэлектрических параметров  $\epsilon$  и  $\sigma$  ультрамафитов, опубликованным в справочной литературе (таблица 1).

Можно считать, что для сухого скелета горных пород величина геоэлектрических параметров практически не зависит от частоты, а интервал разброса значений зависит только от чистоты опыта: правильного выбора методики измерений и точности проводимых наблюдений.

В естественных условиях залегания значения геоэлектрических параметров мало пористых ультрамафических пород существенно зависят от структурно-текстурных особенностей измененных образцов.

В ходе опробования выявлено несколько видов образцов горной породы, в которых в меньшей степени или совсем нет зависимости между степенью влажности и величиной параметров  $\epsilon$  и  $\sigma$ . Породы имеют явно выраженную афанитовую структуру, то есть практически без пор, следовательно, не обводнены.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ

Для СДВ диапазона впервые приведены значения геоэлектрических параметров ультрамафических пород Юдинского тела, которые могут быть использованы как при проведении поисковых геологических работ на хромиты и магнетиты, так и реализоваться при моделировании физических полей.

Для дунитовых разностей в естественных условиях залегания с увеличением частоты отмечается:

а) уменьшение диэлектрической проницаемости в среднезернистых дунитах от 47,0 до 13,3; для мелкозернистых — от 21,0 до 13,7; увеличение электрической проводимости для крупнозернистых дунитов от  $1,2 \times 10^{-5}$  Сим/м до  $8,4 \times 10^{-5}$  Сим/м, для мелкозернистых дунитов от  $0,6 \times 10^{-5}$  Сим/м до  $2,4 \times 10^{-5}$  Сим/м;

б) для всех частот, на которых выполнялись измерения, при потере влаги в образцах горных пород отмечается понижение значений  $\epsilon$  и  $\sigma$  для всех разновидностей скальных образований;

в) замечено, что значения геоэлектрических параметров сухих дунитов и ультрамафические разности афанитовой структуры в меньшей степени зависят от изменения частоты измерений.

Таким образом, в естественных условиях залегания структурно-текстурные особенности ультрамафитов являются одним из главных факторов, влияющим на значения электрической проводимости и диэлектрической проницаемости горной породы.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов О.К. Концентрически-зональные пироксенит-дунитовые массивы Урала. Екатеринбург, Изд. Уральского университета, 1997.
2. Пархоменко Э.И. Электрические свойства горных пород М., Наука, 1965.
3. Пономарев П.П. Каулин В.А. Отбор керн при колонковом геолого-разведочном бурении. Л., Недра, 1989.