

УДК 553.48

## ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ПОЛЯ И НИКЕЛЕНОСНОСТЬ КАМЧАТСКОГО СРЕДИННОГО МАССИВА

© 2006 М. Д. Сидоров, В. А. Степанов

*Научно-исследовательский геотехнологический центр ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, 683002;  
e-mail: vitstepanov@yandex.ru, smd52@mail.ru*

Приводятся краткие сведения о строении и никеленосности Камчатского срединного массива. Проанализированы физические свойства горных пород и медно-никелевых руд, а также дана характеристика массива в геофизических полях. Никеленосные интрузии дукукского комплекса отнесены к группе немагнитных пород высокой плотности, что определяет возможность их выявления на картах геофизических полей и прогнозирования новых перспективных территорий. Для никеленосной интрузии Шанучского месторождения получена Rb-Sr изохрона в  $49.2 \pm 2.7$  млн. лет, что соответствует эоцену.

### ВВЕДЕНИЕ

Крупный (площадью около 15 тыс. км<sup>2</sup>) выступ протерозойских, палеозойских и мезозойских (доверхнемеловых) образований в южной части Камчатского полуострова отвечает критериям срединного массива в понимании А.Л. Яншина (Яншин, 1965), А.Д. Щеглова (Щеглов, 1971) и других исследователей. В опубликованных ранее работах он известен как Срединный Камчатский массив, Срединный Камчатский выступ или Центрально-Камчатский кристаллический массив (Геология СССР, т. XXXI, 1964; Коряко-Камчатский..., 2002; Некрасов, 2003). Наиболее древние метаморфизованные образования колпаковской и камчатской серии протерозойского возраста приурочены к центральной части массива, а метатерригенные и сланцевые осадки хейванской, андриановской и химкинской свит палеозойского (?) возраста располагаются вдоль северной и южной окраин массива. Перечисленные образования прорваны многочисленными интрузиями гранитоидов палеозойского (?) и мелового возраста, развитыми преимущественно в центральной, осевой части Камчатского срединного массива (КСМ). На периферии массива наряду с ними расположены многочисленные малые интрузии, силлы и дайки базитов и гипербазитов, преимущественно сложенные породами кортландит-горнблендит-пироксенит-габбро-диоритовой ассоциации дукукского комплекса эоценового возраста. Наиболее молодые образо-

вания — риолиты и риодациты голоцена слагают район Хангарского вулканического сооружения.

В пределах Камчатского срединного массива проявлено, главным образом, медно-никелевое оруденение (месторождение Шануч, рудопроявления Восточно-Геофизическое, Квинум, Дукук, Олень и др.), в меньшей степени - золотое, золото-серебряное и медно-порфиоровое. Медно-никелевое оруденение приурочено к дукукскому базитовому комплексу малых интрузий и даек. Оруденение тяготеет к краевым частям КСМ, выполненным метатерригенными черносланцевыми толщами. Согласно классификации Нгуен Динь Ката, Камчатский срединный массив относится к дорифейским автохтонным массивам внутригеосинклинального типа с медно-никелевой минерагенической специализацией (Нгуен Динь Кат, 1983).

### МЕДНО-НИКЕЛЕВОЕ ОРУДЕНЕНИЕ

В пределах Камчатского срединного массива выделяются два рудных узла с медно-никелевым оруденением: Шанучский и Дукукский (Трухин, Кременецкий и др., 2003 г.<sup>1</sup>). Они приурочены к

<sup>1</sup> Трухин Ю.П. и др. Отчет «Проведение комплекса работ, связанных с геологическим изучением платиново-медно-никелевых руд в южной части Дукукского никеленосного рудного узла Квинум-Кувалорогской зоны». Петропавловск-Камчатский, ФГУ «ГФИ по Камчатской области и КАО». 2003. 300 с.

северной и южной оконечностям КСМ. В геолого-структурном плане рудным узлам отвечают площади развития терригенных углеродсодержащих толщ, прорванных сериями малых интрузий, даек и силлов никеленосного дукукского комплекса.

Наиболее изучено Шанучское медно-никелевое месторождение, расположенное в северной части КСМ. Оно представлено рудными телами массивных, брекчиевых, прожилковых и вкрапленных руд халькопирит-пентландит-пирротинного состава. Рудные тела приурочены к сложного строения крутонаклонным дайкообразным интрузиям амфиболовых габбро, амфибол-биотитовых диоритов и кварцевых диоритов (Селянгин, 2003). Они располагаются среди палеозойских (?) гнейсо-гранитов и кристаллических сланцев камчатской серии.

О возрасте никеленосных интрузивов Камчатки существуют разноречивые сведения. Так, в обобщающей работе по геологии и полезным ископаемым Камчатки указывается, что возраст медно-никелевого оруденения, на основании определения абсолютного возраста рудоносных интрузий калий-аргоновым методом (54-96 млн. лет), предположительно определяется как поздне-меловой-раннепалеогеновый (Геология СССР, т. XXXI, 1977). С.А. Шека и В.М. Чубаров указывают, что непосредственно в пределах Камчатского срединного массива возраст никеленосных интрузивов по радиологическим К-Аг датировкам меняется в интервале от 220 до 80 млн. лет, то есть от позднего триаса до позднего мела (Шека, Чубаров, 1987). На более древний – позднепалеозойский (?) возраст медно-никелевого оруденения Камчатки указывает А.И. Байков с соавторами (Байков и др., 1988). В более поздней работе В.А. Полетаева сообщается, что определения абсолютного возраста никелевых интрузий Центральной Камчатки охватывают время от юры до олигоцена, но возраст их формирования – позднеюрский-раннемеловой, скорее всего – ранне-меловой (Полетаев, 1999).

Для уточнения возраста никеленосных интрузивов Шанучского месторождения нами произведено определение абсолютного возраста Rb-Sr методом. В качестве объекта изотопного исследования выбран интрузив Шанучского месторождения. Из него отобраны 5 проб неизменных разностей амфиболовых диоритов, мелодиоритов, габбро-диоритов, пегматоидных габбро-диоритов и пегматоидных диоритов. Просмотр шлифов подтвердил отсутствие вторичных изменений в отобранных пробах. Химический состав пород приведен в табл. 1. После дробления до фракции +0.5-1мм из проб В.Е. Кунгуровой (НИГТЦ ДВО РАН) были отобраны под бинокляром монофракции амфибола, биотита или

сростков биотита с амфиболом, как минералов, богатых калием.

Определение абсолютного возраста Rb-Sr методом было выполнено в Центре изотопных исследований ВСЕГЕИ (г. Санкт-Петербург). Содержание изотопов рубидия и стронция определялось на термоионизационном масс-спектрометре Triton (Германия). Результаты измерения показаны в табл. 2 и на рис. 1. По пяти пробам получена изохрона:  $t = 49.2 \pm 2.7$  Ma,  $JR = 0.7053 \pm 0.0010$ ,  $MSWD = 33$ . Отдельно рассчитана изохрона по 3-м пробам (табл. 2):  $t = 49.16 \pm 0.29$  Ma,

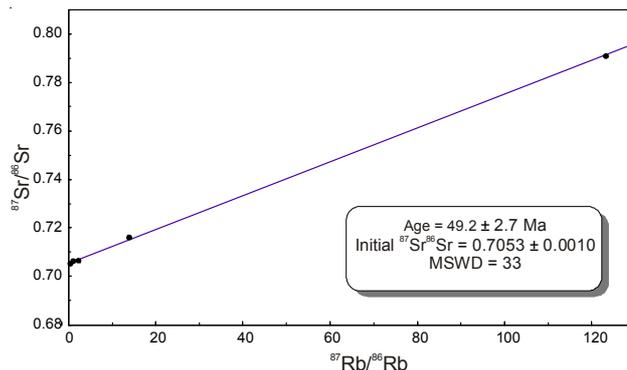


Рис. 1. Изохрона абсолютного возраста никеленосной интрузии габбро-диоритов на месторождении Шануч.

$JR = 0.70490 \pm 0.0015$ ,  $MSWD = 0.016$ . Обе изохроны указывают на эоценовый возраст магматизма при небольших величинах отклонения. Отношение изотопов стронция (0.7049 и 0.7053) несколько выше мантийного и указывает на некоторую контаминированность никеленосной магмы материалом земной коры.

Для определения основных закономерностей размещения медно-никелевого оруденения нами проведен анализ геофизических полей на Камчатском срединном массиве и физических свойств горных пород и никелевых руд.

## ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГОРНЫХ ПОРОД И РУД

Физические свойства горных пород Камчатского срединного массива (КСМ) и структур обрания изучались на протяжении длительного периода (с 60-х годов XX в.), в основном, по коллекциям геологических и геофизических партий, проводивших исследования в этом районе. Для измерений свойств использовались лабораторные установки и приборы МА-21, JR-4, ВЛКТ, ИМВ-1, ПИМВ.

Для сравнительного анализа физических свойств горные породы разбиты на группы по принадлежности к традиционно выделяемым в этой части Камчатского полуострова геологичес-

**Таблица 1.** Химический состав интрузивных пород месторождения Шануч, вес. %

№ п/п	№ образца	Название породы	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>3</sub>	ппп	сумма
1	СШ-2	габбро-диорит	53.55	0.428	8.92	2.8	7.21	0.137	19.12	1.42	0.1	1.10	0.076	0.64	3.85	98.61
2	СШ-5	меладiorит	59.91	0.405	14.78	0.39	5.06	0.08	10.63	4.13	2.46	0.322	0.129	0.07	1.44	99.80
3	СШ-7	диорит	58.71	1.01	20.08	0.89	3.79	0.06	2.84	5.82	3.54	1.86	0.294	0.04	0.90	99.81
4	ША-3	пегматоидный диорит	56.24	0.98	19.18	7.33	3.38	0.15	2.90	5.92	3.39	1.89	0.55	0.01	1.59	99.51
5	ША-5	пегматоидный габбро-диорит	53.53	1.52	11.54	3.94	6.75	0.13	8.84	6.65	1.55	2.00	0.13	0.10	2.28	98.96

Образцы СШ-2, СШ-5 и СШ-7 любезно предоставлены авторам О.Б. Селянгиным

**Таблица 2.** Результаты определения абсолютного возраста Rb-Sr методом

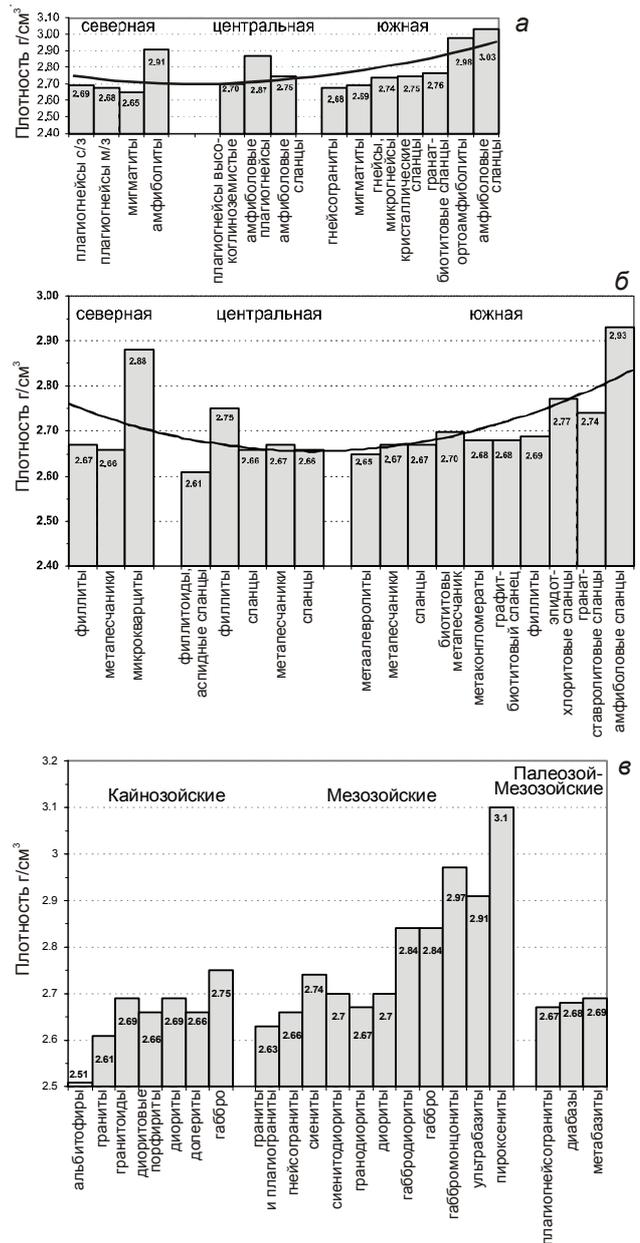
№№ п/п	№ образца	Название породы	Исследуемый минерал	Rb (ppm)	Sr (ppm)	<sup>87</sup> Rb/ <sup>86</sup> Sr	<sup>87</sup> Sr/ <sup>86</sup> Sr
1	СШ-2	габбро-диорит	амфибол	35.49	93.23	1.100	0.7062±0,0012
2	СШ-5	меладiorит	биотит, амфибол	19.09	123.8	0.4456	0.7052±0,0013
3	СШ-7	диорит	биотит	171.3	218.1	2.269	0.7065±0,0010
4	ША-3	пегматоидный диорит	биотит	334.4	69.50	13.92	0.7159±0,0010
5	ША-5	пегматоидный габбро-диорит	амфибол, биотит	515.6	12.20	123.2	0.7909±0,0010

Параметры изохроны: (обр. 2,3,5),  $t = 49.16 \pm 0.29$  Ma,  $JR = 0.7049 \pm 0.0015$ ,  $MSWD = 0.016$  (обр. 1,2,3,4,5),  $t = 49.2 \pm 2.7$  Ma,  $JR = 0.7053 \pm 0.0010$ ,  $MSWD = 33$ . Аналитик: П.Б. Лебедев (ВСЕГЕИ).

ким комплексам и структурам. Толщи нижнего структурного яруса представлены породами колпаковской и камчатской метаморфических серий. Толщи верхнего структурного яруса - породами хейванской, химкинской и квахонской свит. Структуры обрамления массива – терригенными породами кихчикской серии и хозгонской свиты, вулканогенными и вулканогенно-осадочными породами ирунейской и кирганинской свит мезозойского возраста, а также осадочными, вулканогенно-осадочными и вулканическими породами кайнозойского возраста. Интрузивные породы сгруппированы по возрасту и принадлежности к интрузивным комплексам. Срединный массив вытянут в меридиональном направлении на 200 километров и занимает большую территорию. Для сравнительной характеристики физических свойств однотипных пород различных частей он условно разделен на три части (южную, центральную и северную) на широте рек Правая Колпакова и Облуковина. Такое сравнение позволяет лучше понять структуру геофизических полей, наблюдаемых над массивом.

**Плотность.** Как известно, плотность горной породы главным образом зависит от ее минерального состава. Наибольшей плотностью обладают интрузивные породы основного состава и породы амфиболитовой фации метаморфизма. Плотность этих пород близка к 3.0 г/см<sup>3</sup>. Наименьшая плотность отмечается у вулканических пород из обрамляющих массив кайнозойских осадочных и вулканических толщ (песчаники, алевролиты, шлаки, туфы, игнимбриты, кислые эффузивы). Плотность этих пород обычно заключена в интервале значений от 2.2 до 2.45-2.50 г/см<sup>3</sup>. На рисунке 2а приведена сравнительная диаграмма плотности пород высоких фаций метаморфизма (колпаковская и камчатская серии) для различных частей КСМ.

Как видно из диаграммы, для всего массива отмечается значительная разница в плотности между гнейсами и амфиболитами, достигающая 0.25-0.3 г/см<sup>3</sup>. Плагиогнейсы, гнейсограниты и мигматиты во всех частях массива имеют примерно одинаковую плотность в интервале 2.65 - 2.70 г/см<sup>3</sup>. В группе гнейсов выделяются амфиболовые гнейсы из центральной части массива (междуречье Правой Колпаковой и Облуковины). Их средняя плотность повышена на 0.1-0.2 г/см<sup>3</sup>, вероятно, за счет большего количества амфиболов в породе. На диаграмме также видна несколько увеличенная плотность амфиболитов юга массива. Породы зеленосланцевой фации регионального метаморфизма из толщ верхнего яруса (филлиты, слюдяные сланцы, метапесчаники) имеют, в целом, плотность в пределах 2.65-2.66 г/см<sup>3</sup>, что незначительно ниже плотности гнейсов (рис. 2б). На этом фоне повышенной плотностью выделя-



**Рис. 2.** Средняя плотность пород различных частей массива. а - толщи нижнего яруса, б - толщи верхнего яруса, в - интрузивные комплексы. Линией показана аппроксимирующая кривая изменения плотности.

ются эпидот-хлоритовые сланцы (2.77 г/см<sup>3</sup>) из южной, микрощаляки из северной (2.88 г/см<sup>3</sup>), а также филлиты (2.75 г/см<sup>3</sup>) из центральной частей массива. Наиболее плотными породами верхних толщ являются кристаллические и амфиболовые сланцы (до 2.93 г/см<sup>3</sup>). Прогиб аппроксимирующих кривых на рисунках свидетельствует о том, что центр массива сложен менее плотными породами по сравнению с краевыми частями (северной и южной).

Для интрузивных пород кайнозоя и мезозоя (рис. 2в), развитых в пределах массива, отчетливо проявлено увеличение плотности в ряду гранит -

габбро. Однако такой зависимости не наблюдается для палеозой-мезозойских интрузий. Если для первых разница в средней плотности между гранитами и габбро достигает 0.4-0.5 г/см<sup>3</sup>, то для вторых всего 0.02 г/см<sup>3</sup>. Их средняя плотность находится в одном диапазоне с породами зеленосланцевой фации. Наименее плотными являются кайнозойские альбитофиры и граниты (2.51-2.61 г/см<sup>3</sup>), наиболее плотными мезозойские базиты и ультрабазиты (2.97-3.1 г/см<sup>3</sup>). Установлено, что кайнозойские разновидности этих пород обладают более низкими средними значениями (2.75 г/см<sup>3</sup>). Средняя плотность габброперидотитов дукукского интрузивного комплекса из северной части массива (район г. Верхняя Тхонжа) составляет 3.02 г/см<sup>3</sup> (Сидоренко и др., 1999<sup>2</sup>), а из интрузий того же состава, расположенных в южной части массива – 2.85 г/см<sup>3</sup> (Боровцов и др., 2001<sup>3</sup>). Средняя плотность субвулканических метапикродолеритов алисторского комплекса также очень высокая и составляет 2.90 г/см<sup>3</sup> (Боровцов и др., 2001<sup>3</sup>).

В целом, для метаморфических пород массива отмечается повышение плотности по мере возрастания степени метаморфизованности, а для интрузивных – с увеличением их основности (рис. 3). Это связано с постепенно возрастающей долей тяжелых минералов в общей массе указанных пород.

Плотность медно-никелевых руд зависит от структурно-текстурных особенностей и, соответственно от доли сульфидной фракции. Для массивных руд плотность составляет 3.71 г/см<sup>3</sup>, руды прожилково-вкрапленные – 3.0 г/см<sup>3</sup>; нориты и кортландиты с вкрапленными рудами – 2.8 г/см<sup>3</sup> (Гумовский, 1990<sup>4</sup>). При незначительном количестве рудных вкрапленников плотность близка к плотности базитов, вмещающих рудные тела.

Из приведенных данных можно заключить, что для массива и сопредельных окраин (с учетом распространенности и мощности толщ, комплексов) средняя плотность промежуточного слоя, принятая для гравиметрических карт в редукции Буге (2.67 г/см<sup>3</sup>), вполне соответствует действи-

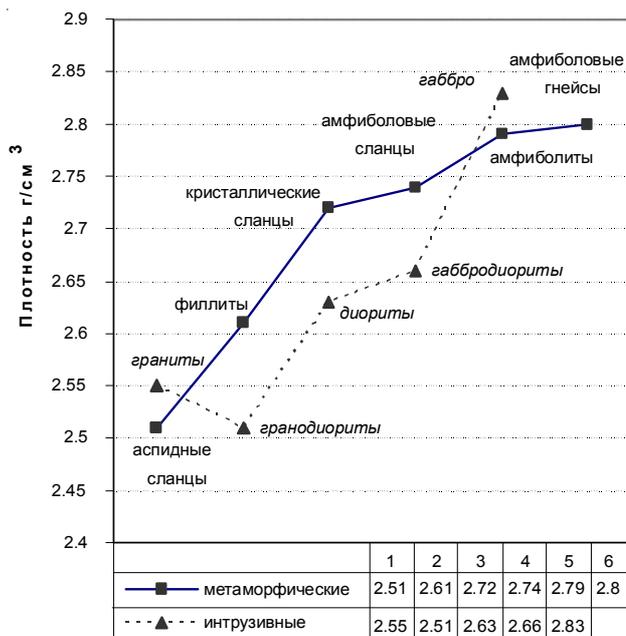


Рис. 3. Тенденции плотности пород западной части срединного массива (междуречье Воровская-Облуковина).

тельности. Исходя из этого, следует предполагать, что в поле силы тяжести, особенно в его локальной компоненте, достаточно контрастными локальными максимумами могут отражаться интрузивы основного, среднего-основного состава, эффузивы квахонской свиты. Области с преобладанием пород амфиболитовой фации метаморфизма среди гранитогнейсов могут создавать относительные местные повышения уровня поля. Напротив, большие массы гранитогнейсов вместе с гранитоидными интрузивами должны создавать пониженный аномальный гравитационный фон. В целом, эти закономерности и нашли отражение на картах среднемасштабных гравиметрических съемок (1:200000). Обнаружение медно-никелевых рудных тел, в силу их малых размеров, возможно только при высокоточных крупномасштабных гравиметрических съемках. Это же относится к обособленным малым телам никеленосных базитовых интрузий.

**Магнитные свойства.** Главным ферромагнетиком, благодаря которому формируются магнитные свойства горных пород, является акцессорный магнетит. В подавляющем большинстве горные породы, слагающие метаморфический массив являются слабомагнитными или практически немагнитными. Это равно относится и к нижним и к верхним толщам. Магнитная восприимчивость для пород этих толщ, как правило, не превышает первых сотен единиц в 10<sup>-5</sup> СИ. Незначительное повышение магнитности наблюдается лишь у амфиболовых сланцев и амфиболитизированных плагиогнейсов (рис. 4).

<sup>2</sup> Сидоренко В.И., Селиванов М.Т., Лисович В.А. Объяснительная записка к Государственной геологической карте Российской Федерации масштаба 1:200000. Издание второе. Серия Хангарская, лист N-57-VII (г. Тупая). Петропавловск-Камчатский, ФГУ «ТФИ по Камчатской области и КАО». 1999. 150 с.

<sup>3</sup> Боровцов А.К., Сидоренко В.И., Шенко В.И. и др. Объяснительная записка к Государственной геологической карте Российской Федерации масштаба 1:200000. Издание второе. Серия Хангарская, лист N-57-XX (Ганалы). Петропавловск-Камчатский, ФГУ «ТФИ по Камчатской области и КАО». 2001. 150 с.

<sup>4</sup> Гумовский А. С. Отчёт о результатах поисков медно-никелевых месторождений на участке Квинум за 1988-1990 гг., ФГУ «ТФИ по Камчатской области и КАО». 1990. 250 с.

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ПОЛЯ И НИКЕЛЕНОСНОСТЬ КАМЧАТСКОГО СРЕДИННОГО МАССИВА

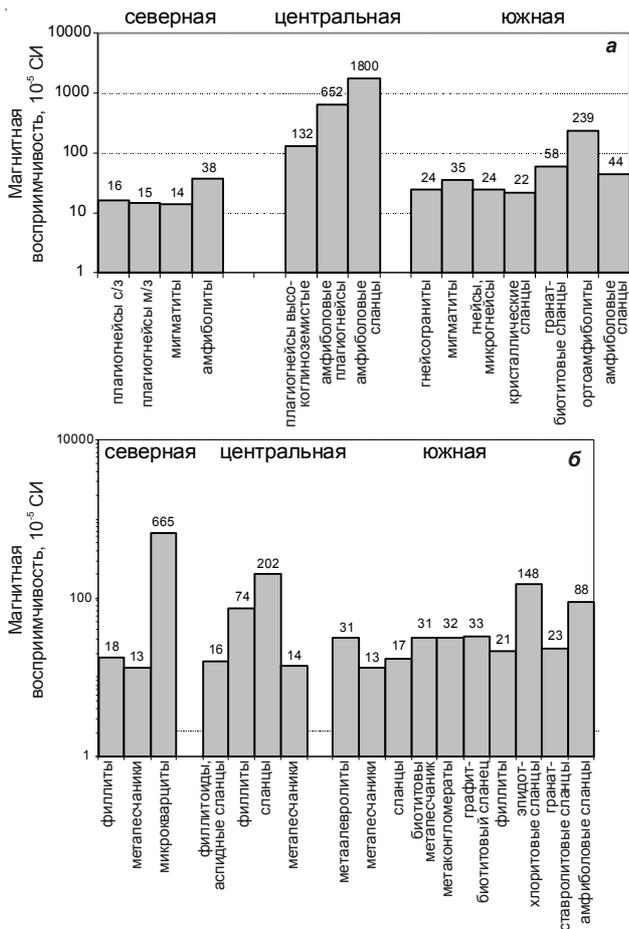


Рис. 4. Средняя магнитная восприимчивость метаморфических пород различных частей массива: а - толщи нижнего яруса; б - толщи верхнего яруса.

Значительно большим разнообразием магнитных свойств обладают породы из интрузивных комплексов, прорывающих метаморфиды (рис. 5). Для них отчетливо проявляется зависимость магнитности от основности пород. Наименьшими величинами магнитных параметров отмечаются кислые разновидности пород, максимальными - основные и ультраосновные. Исключение составляют базиты дукукского комплекса. К категории немагнитных и слабомагнитных относится большинство интрузий, объединенных в крутогоровский гнейсоплагиогранитовый, кольский плагиогранит-гранодиоритовый и дукукский габбро-кортландитовый интрузивные комплексы. Наиболее магнитными являются породы из интрузий левоандриановского комплекса субщелочных габбро, пироксенитов и дунитов и лавкинского гранодиоритового комплекса. Интрузивные тела левоандриановского и лавкинского комплексов, в силу повышенных магнитных свойств слагающих их пород, на фоне немагнитных пород метаморфических толщ, находят четкое отражение в аномальном магнитном поле даже на среднемасштабных картах (рис. 8 на

3 странице обложки). К среднемагнитным относятся породы интрузий андриановского метабазитового комплекса.

Из всех базитовых интрузивных комплексов, прорывающих массив, только дукукский комплекс обладает аномально низкими магнитными свойствами. Это характерно практически для всех петрографических разновидностей пород слагающих интрузии.

Приведенные сведения о плотностных и магнитных свойствах горных пород из района метаморфического массива позволяют разделить их на несколько петрофизических групп. Породы этих групп широко распространены, слагают геологические тела значительного размера и объема в верхней части Земной коры, оказывают существенное влияние на аномальные геофизические поля (гравитационное и магнитное).

Группа 1. Немагнитные (до  $100 \times 10^{-5}$  СИ), относительно малоплотные ( $2.57-2.65$  г/см<sup>3</sup>) породы. Основную массу этой группы составляют гнейсы, гранитогнейсы, мигматиты колпаковской и камчатской метаморфических серий, граниты интрузий крутогоровского и кольского комплексов.

Группа 2. Немагнитные (магнитная восприимчивость до  $100 \times 10^{-5}$  СИ), слабомагнитные (маг-

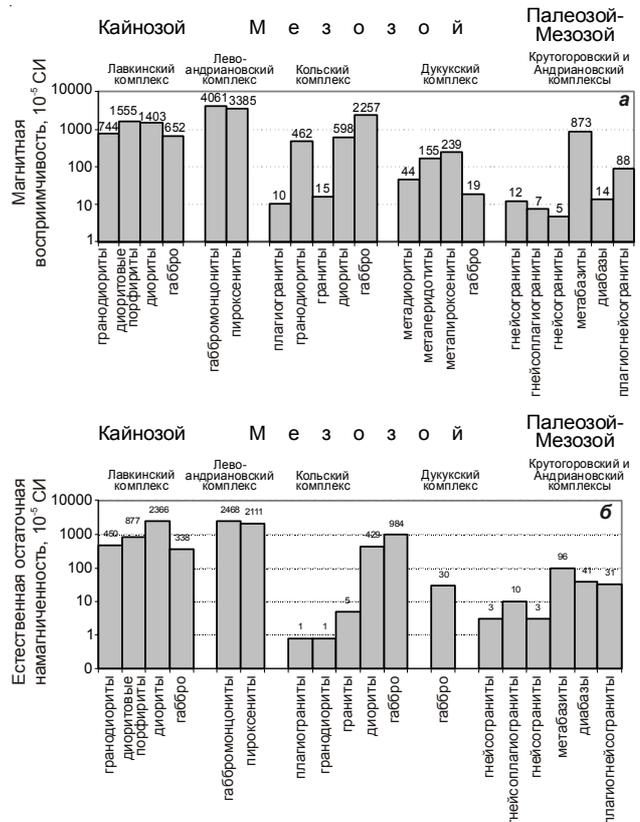


Рис. 5. Средние значения магнитных свойств интрузивных пород: а - магнитная восприимчивость; б - естественная остаточная намагниченность.

нитная восприимчивость сотни в  $10^{-5}$  СИ) породы со средней плотностью ( $2.66-2.80$  г/см<sup>3</sup>). К этой группе относится большая часть пород хейванской, хозгонской, квахонской свит, кихчикской серии, кристаллические сланцы камчатской серии, метабазиты андриановского комплекса.

Группа 3. Магнитные (магнитная восприимчивость  $1000-3000 \times 10^{-5}$  СИ), средней плотности ( $2.66-2.80$  г/см<sup>3</sup>) породы. В эту группу входят вулканогенные отложения кирганинской и ирунейской свит (кроме осадочных пород), лавкинского интрузивного комплекса, а также кайнозойские эффузивы среднего, средне-основного состава из образований Центрально-Камчатского вулканического пояса.

Группа 4. Немагнитные (магнитная восприимчивость до  $100 \times 10^{-5}$  СИ), слабомагнитные (магнитная восприимчивость сотни в  $10^{-5}$  СИ) породы высокой плотности (свыше  $2.85$  г/см<sup>3</sup>). В эту группу выделяются базиты дукукского интрузивного, метапикродолериты алисторского субвулканического комплексов. К этой же группе следует отнести амфиболиты колпаковской и камчатской серий.

Группа 5. Магнитные (магнитная восприимчивость  $1000-3000 \times 10^{-5}$  СИ) и сильномагнитные (магнитная восприимчивость более  $3000 \times 10^{-5}$  СИ) породы высокой плотности (свыше  $2.85$  г/см<sup>3</sup>). Группа представлена породами левоандриановского комплекса субщелочных габбро, пироксенитов и дунитов.

Промежуточное положение занимают метабазиты андриановского метагаббрового комплекса. Породы обладают средней магнитностью (магнитная восприимчивость  $870 \times 10^{-5}$  СИ) и средней плотностью ( $2.69$  г/см<sup>3</sup>).

По петрофизическим характеристикам породы 4 группы близки к таковым из интрузивной никеленосной формации Кольского полуострова. Большая плотность и слабые магнитные свойства свидетельствуют о большой глубине образования рудоносных магм (Физические свойства горных пород и полезных ископаемых. Справочник геофизика. 1984, с. 398). Магнитные свойства базитов дукукского комплекса резко увеличиваются при появлении в них значительных вкраплений магнитных рудных минералов (магнетита и моноклинного пирротина).

## ПОЛОЖЕНИЕ КСМ В ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЯХ

**Гравитационное поле.** В поле силы тяжести КСМ выделяется как область низких значений  $\Delta g$ , которая по резким гравиметрическим ступеням субмеридионального простирания граничит с аномальными зонами положительного поля на востоке и западе. С севера КСМ отделен суб-

широтной полосой горизонтальных градиентов поля силы тяжести (такого же простирания) от аномальной области отрицательного, сильно дифференцированного поля с дуговым рисунком изоаномал. Этот тип поля характерен для структур Центрально-Камчатского вулканического пояса. В поле градиентов субширотная полоса фрагментарно прослеживается почти через весь полуостров. Ширина полосы на отдельных участках превышает 10 км. Вероятно, таким образом отражается структурно-вещественная неоднородность и повышенная деструкция земной коры, обусловленная тектоническими движениями трансформного типа. Сложно построенные гравитационные ступени в краевых частях массива свидетельствуют о латеральной неоднородности и повышенной проницаемости этих участков коры.

Для большей части КСМ характерны отрицательные значения  $\Delta g$ . Наиболее низкие значения поля приурочены к выходам гранитов и гранитогнейсов. К краям массива поле повышается и становится положительным. Это обусловлено сокращением малоплотного гранитогнейсового слоя в верхах коры и уменьшением ее мощности. При относительной плавности наблюдаемого поля  $\Delta g$ , для КСМ характерным является наличие небольших по размерам контрастных относительно локальных максимумов. Многие из них сосредоточены в краевых частях массива. Особенно отчетливо максимумы проявляются в остаточных аномалиях при малых радиусах осреднения наблюдаемого поля (рис. 6 на 3 странице обложки). Анализ физических свойств горных пород позволяет заключить, что большинство локальных максимумов связано с интрузиями, сложенными породами среднего, средне-основного, основного и ультраосновного состава. Избыточные плотности этих интрузивных тел достигают  $0.2-0.5$  г/см<sup>3</sup> по сравнению с плотностью вмещающих толщ.

При решении прогнозно-поисковых задач важно выделить из общего аномального поля ту его составляющую, которая хотя бы приближенно отражает пространственное положение рудоконтролирующих структур. Существует много методов разделения поля на локальную и региональную компоненты, но независимо от применяемой методики вычислений, успех во многом зависит от «контрастности» изучаемых структур и геологических тел. В первую очередь, это избыточная (недостаточная) плотность тел по сравнению с вмещающей средой. Важными факторами являются локализованность геологических тел в определенном глубинном интервале и их размеры. Подobie порядка аномалий и порядка геологических структур позволяет даже при самых общих схематических представлениях о геологическом

строении территории успешно разделять наблюдаемые аномалии на региональную и локальную составляющие.

Предпосылками для выделения в гравитационном поле аномалий, которые можно сопоставить с интрузиями дукукского никеленосного комплекса, являются:

- высокая плотность пород интрузий по сравнению с вмещающей средой (избыточная плотность 0.2-0.5 г/см<sup>3</sup>);
- расположение интрузий в верхней части коры, благодаря чему аномальные эффекты от этих тел достаточно интенсивны для регистрации их среднемасштабными съемками;
- размещение интрузий в пределах срединного массива и его краевых частей, которые выражены характерным типом гравитационного поля пониженного уровня;
- размеры наиболее эродированных и крупных интрузий комплекса, известные по геологическим данным (Кувалорог, Дукук и др.), составляют в поперечнике от 2 до 7 км и площадью до 20 кв.км.

Первые две предпосылки указывают на то, что аномалии над телами комплекса будут представлены в локальной компоненте отчетливо выраженными максимумами. Третья предпосылка ограничивает относительно однотипную область земной коры, в пределах которой эти максимумы можно расценивать как возможные аномалии над интрузиями комплекса. Четвертая предпосылка дает возможность для выбора параметров трансформации наблюдаемого гравитационного поля.

Наиболее распространенным методом разделения аномалий на локальную и региональную составляющие является осреднение поля круговой палеткой с некоторым заранее определенным радиусом и последующим его вычитанием из наблюдаемых значений. Для определения оптимального радиуса проведено опытное осреднение в трех точках расположенных в северной, центральной и южной частях аномальной области КСМ. Полученные графики (рис. 7) указывают на наличие аномалий нескольких порядков. Для графиков северной и южной частей массива отмечаются характерные точки перегиба (изменение знака второй производной) в интервале 4-5 км. На графике для центральной части КСМ две точки – 3 и 6.5 км. При дальнейшем увеличении радиуса правые ветви кривых монотонно стремятся к асимптотическим значениям за пределы рассматриваемой аномальной области. Полученные опытным путем радиусы сопоставимы с размерами интрузивных тел. Можно считать, что на карте остаточных аномалий (рис. 6 на 3 странице обложки), полученной с R= 4 км, нашли отражение интрузии (в том числе и не эродированные) дукукского комплекса.

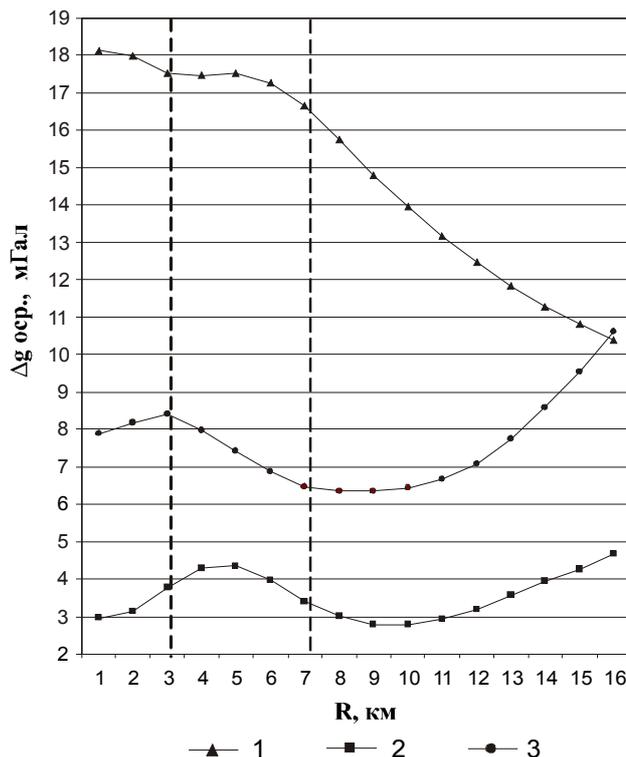


Рис. 7. Характер изменения поля силы тяжести от радиуса осредняющей палетки для различных участков Камчатского срединного массива. Штриховыми линиями ограничена зона оптимальных радиусов для выделения остаточных аномалий. 1 - северная часть, 2 - центральная часть, 3 - южная часть.

**Магнитное поле.** Большая часть горных пород, слагающих КСМ, является не магнитной. Эта особенность выразилась на картах среднемасштабной аэромагнитной съемки в виде плавного слабо отрицательного или около нулевого поля, которым характеризуется территория КСМ (рис. 8 на 3 странице обложки). На фоне немагнитных пород массива контрастными положительными аномалиями отмечаются интрузии среднего, основного и ультраосновного состава, а также вулканы обрамления массива, эффузивы и пирокластические отложения вулкана Хангар в центральной части. Породы рудоносных интрузий дукукского габбро-кортландитового комплекса слабомагнитны, заметных аномальных эффектов не создают, в силу чего не находят четкого отражения в аномальном поле. Эта особенность отличает их от базитов других интрузивных комплексов, распространенных на территории КСМ, например, левоандриановского. Почти вся территория КСМ исследована крупномасштабными (1:50000) аэромагнитными съемками. Магнитное поле на этих картах более дифференцированное и структурированное, но и на них сохраняется отмеченная закономерность.

**Глубинные сейсмические зондирования.** Срединный массив пересечен полностью одним про-

филем глубинного сейсмического зондирования (ГСЗ) в районе р. Облуковина и фрагментарно в южной части (бассейн р. Коль) исследован методами магнитотеллурического зондирования (МТЗ), методом обменных волн землетрясений (МОВЗ) с шагом наблюдений 5-20 км. Центральная часть массива глубинными геофизическими профилями не изучалась.

В 1968 году сводной экспедицией Якутского института геологии, СахКНИИ, Института вулканологии и СНИИГИМСа были проведены рекогносцировочные исследования методом ГСЗ по профилю с. Облуковино - с. Кирганик. Несмотря на малую детальность наблюдений на профиле был выделен ряд маркирующих сейсмических границ и дана скоростная характеристика разреза. На западном и восточном фрагментах профиля, за пределами массива, выделена преломляющая граница с граничной скоростью 5.0-5.2 км/сек. Эта граница отождествляется с кровлей верхнемеловых отложений. Ниже нее выделена граница со скоростями 6.2 км/сек на равнинной части профиля и 5.8 км/сек в Срединном хребте. В западной части профиля глубина залегания этой границы находится в интервале 10 – 6 км, постепенно воздымаясь в восточном направлении. В предгорьях Срединного хребта граница по разлому поднята на два километра и выходит на поверхность в районе КСМ (Потапьев, 1974.). С востока массива, в Центрально-Камчатском прогибе, граница также по разлому погружается до глубины 5 км. Природа границы интерпретируется двояко: на окраинных частях массива предполагается, что это физическая граница, отражающая степень регионального метаморфизма, а на других участках профиля это структурная поверхность подошвы осадочно-вулканогенных отложений (Потапьев, 1974). Граница Конрада залегает на глубинах 20-25 км. Пластовые скорости ниже нее составляют 6.4-6.7 км/сек. За подошву коры на профиле принята граница М с эффективной скоростью 6.0 км/сек и пластовой, в ниже лежащей толще, 7.4 – 8.3 км/сек. С запада на восток по профилю глубина залегания подошвы коры ступенеобразно изменяется от 31 до 39 км, максимально увеличиваясь перед Срединным хребтом. Далее, на отрезке профиля через собственно КСМ сейсмических данных не получено. Восточнее же массива эта сейсмическая граница фиксируется на глубине около 40 км.

Северная часть массива пересечена региональным профилем МОВЗ по направлению с запада на восток. Извилистый профиль проходит по долине р. Облуковина через перевал Оганчи и далее по долине р. Кирганик. Южная часть массива пересечена аналогичным профилем по долине р. Пымта с разрывом в районе Срединного хребта (где обнажаются породы наиболее глубо-

ких фаций метаморфизма) и по р. Правый Лунтос с выходом в долину р. Быстрая. Шаг наблюдений по профилю составлял 5-7 км, величина пропущенного интервала около 20 км. На разрезе в интервале глубин до 40-50 км выделяются цепочки коррелируемых точек обмена, которые отождествляются с границами внутри коры – кровлей метаморфического слоя (на флангах массива), разделом Конрада, границей Мохо. По интерпретации авторов (Мишин В.В. и др., 1998 г.<sup>5</sup>), в пределах метаморфического массива граница Мохо устанавливается фрагментарно на глубинах 45-40 км, обнаруживая тенденцию к воздыманию от флангов к центральной части. На северном профиле МОВЗ в центральной части массива выделяется вертикальная зона отсутствия точек обмена. Ширина зоны 10-15 км.

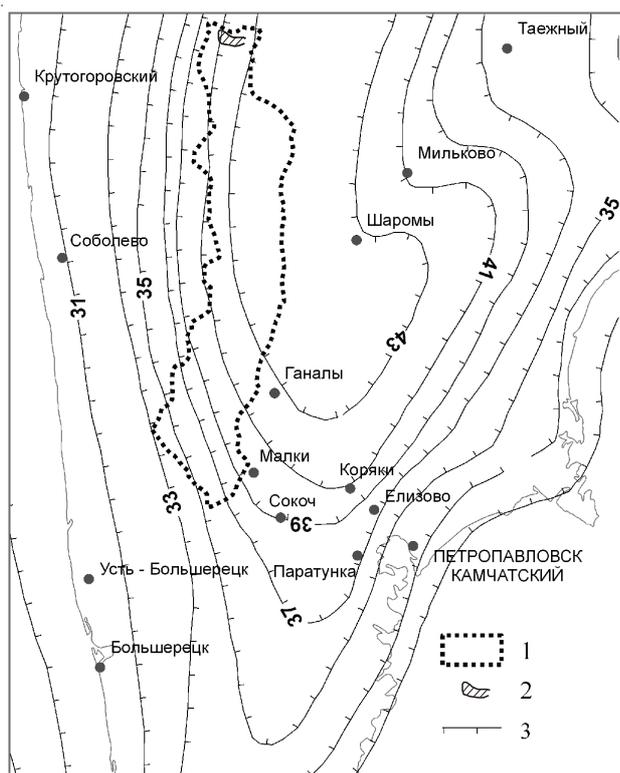
Таким образом, собственно в районе выходов пород высоких фаций метаморфизма (колпаковская и камчатская серии), надежных сейсмических данных, которые бы позволили судить о положении подошвы коры и других структурных разделов внутри массива, не имеется. Можно только предполагать их положение, опираясь на сейсмические границы подходящих из смежных с востока и запада отрезков профилей.

Представление о мощности коры получают способом корреляционного анализа гравитационного поля и глубин до сейсмической границы М, которая фрагментарно фиксируется на профилях ГСЗ в разных районах полуострова. На рисунке 9 представлен фрагмент одной из схем, построенной подобным образом. На ней видно, что для КСМ максимальная мощность коры предполагается в его центральной и восточной частях – 40 и более км. Западный фланг массива расположен на участке резкого сокращения мощности коры до 33-35 км. К этому участку приурочено Шанучское рудное поле.

Более детальные сведения о положении подошвы коры получены при плотностном моделировании глубинных разрезов по гравиметрическим данным среднемасштабных съемок. Суть моделирования состоит в вычислении теоретических аномалий по модели геологического разреза и сравнения их с аномалиями наблюдаемыми приборами. Разрез уточняется до достижения погрешности 5-10 %.

По данным моделирования, максимальная мощность коры для КСМ наблюдается в междуречье Правой Колпаковой и Облуковины. Здесь

<sup>5</sup>Мишин В.В. и др. Отчет о комплексных геолого-геофизических исследованиях на региональном профиле 2 класса п. Ниж. Облуковина – г. Андриановка, проведенные комплексной геофизической партией региональных исследований в 1991-98 гг., ФГУ «ТФИ по Камчатской области и КАО». 1998. 400 с.



**Рис. 9.** Схема глубин залегания поверхности М (по Бабошиной, 1984), с дополнениями. 1 – контур Камчатского срединного массива; 2 – Шанучское рудное поле; 3 – стратоизогипсы поверхности «М».

граница, ниже которой плотность среды соответствует верхней мантии (свыше  $3.4 \text{ г/см}^3$ ), расположена на глубине около 40 км ниже уровня моря. К северу и югу эта плотностная граница воздымается и в районе Шанучского рудного поля залегает на глубинах 28-30 км. В центральной части КСМ отмечается максимальная мощность верхнего, относительно малоплотного гранито-гнейсового слоя. На модели в районе рудного поля, в верхах коры под массивом г. Верхняя Тхонжа выделяется блок с плотностью  $3.0 \text{ г/см}^3$ , которая характерна для пород основного-ультраосновного состава. Этот блок соответствует локальному максимуму силы тяжести (рис. 6 на 3 странице обложки). Количественная интерпретация этой аномалии определяет центр тяжести тела в интервале глубин от 1 до 1.7 км ниже уровня моря. Можно предположить в этой части разреза интрузию базитового состава или скопление небольших интрузивных тел, обладающих повышенной плотностью.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ геофизических полей и никеленосности Камчатского срединного массива позволяет сделать следующие выводы:

- предполагаемая мощность коры для КСМ (40-43 км) получена путем экстраполяции со смежных участков профиля ГСЗ и интерпретации гравитационного поля. Максимальная мощность коры предполагается в северо-восточной части массива. К западу и юго-западу отмечается резкое сокращение мощности коры до 33-35 км;

- в поле силы тяжести КСМ выделяется как область низких значений  $\Delta g$ , которая по сложным гравиметрическим ступеням субмеридиональной ориентировки граничит с аномальными зонами положительного поля к востоку и западу от него;

- территории срединного массива отвечает слабо отрицательное и около нулевое магнитное поле. Контрастными максимумами магнитного поля выделяются интрузии базитов и ультрабазитов, диорит-гранодиоритов а также вулканы среднего и основного состава;

- изучение физических свойств горных пород позволило выделить в пределах КСМ пять групп пород: немагнитные, относительно малоплотные; немагнитные и слабомагнитные средней плотности; магнитные средней плотности; немагнитные высокой плотности и магнитные высокой плотности;

- никеленосные интрузии дукукского комплекса относятся к группе немагнитных пород высокой плотности, что отличает их от других комплексов пород основного и ультраосновного состава. К этой же группе относятся метапикриты алисторского субвулканического комплекса;

- анализ структуры гравитационного поля и петрофизические характеристики пород никеленосных интрузий позволяет выделить локальные максимумы силы тяжести, которые могут быть обусловлены интрузивными телами подобными кувалорогскому, не вскрытыми эрозией (либо частично эродированными), центры масс которых располагаются на глубинах в первые км;

- известные проявления никеля пространственно приурочены к краевым частям максимумов силы тяжести (шанучская, квинум-кувалорогская группы проявлений). Предполагается, что экстремумы максимумов силы тяжести фиксируются над относительно крупными погруженными магматическими камерами, с которыми, в свою очередь, могут быть связаны мелкие руденосные интрузии-сателлиты, внедрявшиеся по тектоническим деструктивным зонам;

- на карте остаточных аномалий, вдоль западной окраины КСМ выделяются перспективные аномальные участки, где возможно обнаружение медно-никелевой минерализации: в междуречье Правая Коль и Сунтук, среднем течении рек Правая Воровская, Колпакова, Хейван и к северу от г. Верхняя Тхонжа. Здесь отмечаются либо контрастные максимумы, образующие це-

почки либо отдельные аномалии с примыкающими к ним полосами повышенных значений остаточного поля и отсутствуют коррелируемые с гравитационными магнитные аномалии;

– для никеленосной интрузии месторождения Шануч получена Rb-Sr изохрона абсолютного возраста в  $49.2 \pm 2.7$  млн. лет, что отвечает эоцену.

#### Список литературы

- Бабошина В.А., Терещенко А.А., Харахинов В.В.* Глубинное строение Охотоморского региона по геофизическим данным. М.: ВНИИ Газпром, 1984. Вып. 3. С. 15-36.
- Байков А.И., Кутыев Ф.Ш., Сидоров Е.Г., Яроцкий Г.Т.* Медно-никелевое сульфидное оруднение Камчатки // Никеленосность базит-гипербазитовых комплексов Украины, Урала, Сибири и Дальнего Востока. Апатиты, 1988. С. 59-61.
- Геология СССР, т. XXXI. Геологическое описание. М.: Недра, 1964. 733 с.
- Геология СССР, т. XXXI. Полезные ископаемые. М.: Недра, 1977. 351 с.
- Коряко-Камчатский район – новая платиноносная провинция России / Вильданова Е.Ю., Зайцев В.П., Кравченко Л.И. и др. // СПб: ВСЕГЕИ. 2002. 383 с.
- Нгуен Динь Кат.* Типы срединных массивов Земли // ДАН СССР. 1983. Т. 269. № 4, С. 905-908.
- Некрасов Е.Г.* Тектоническая природа Камчатско-Корякского региона и вопросы геодинамики складчатого обрамления севера Тихого океана // Геотектоника. 2003. № 6. С. 53-79.
- Поletaев В.А.* Сульфидные платиноидно-медно-никелевые месторождения и рудопроявления перидотит-пироксенит-пиритовой формации центральной Камчатки // Платина России. Т. 3 М.: ЗАО «Геоинформмарк», 1999. С. 191-199.
- Потапов С.В.* Рекогносцировочные исследования ГСЗ на Западной Камчатке // Тр. Сах. КНИИ. №5. 1974. Вып. 37. С. 49-61.
- Селянгин О.Б.* Петрология никеленосных базитов Шанучского рудного поля // Вестник КРАУНЦ. 2003. № 2. С. 33-55.
- Физические свойства горных пород и полезных ископаемых (петрофизика) / Справочник геофизика / Под редакцией Н.Б. Дортман. М.: Недра, 1984. 455 с.
- Щеглов А.Д.* Металлогения срединных массивов. Л.: Недра, 1971. 148 с.
- Щека С.А., Чубаров В.М.* Никеленосные кортландиты Камчатки // Известия АН СССР. Сер. геол. 1987. № 12. С. 50-61.
- Яншин А.Л.* Проблема Срединных массивов // Бюл. МОИП. Сер. геол. 1965. Т. 40. № 5. С. 8.

## GEOPHYSICAL FIELDS AND NICKEL CONTENT OF SREDINNY MASSIF, KAMCHATKA

**M. D. Sidorov, V. A. Stepanov**

*Research Geotechnological Center, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Science  
30 Severo-Vostochnoe shosse, Petropavlovsk-Kamchatsky, P.O. Box 56*

Brief data about structure and nickel content of Kamchatka Sredinny massif is presented. Physical properties of rocks and copper-nickel ores were analyzed; massif characteristic in geophysical fields was made. Nickeliferous intrusions of Dukuski complex were referred to a group of non-magnetic rocks of high density; it gives an opportunity to reveal them on the maps of geophysical fields and to forecast new perspective territories. Rb-Sr isochron of  $49.2 \pm 2.7$  Ma obtained for nickeliferous intrusions of Shanuch deposit corresponds to Eocene.