

ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫЕ ПРОЦЕССЫ В МЕЗОЗОЙСКО-КАЙНОЗОЙСКИХ ВУЛКАНО-ПЛУТОНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ И ИХ РОЛЬ В ФОРМИРОВАНИИ РЕГИОНАЛЬНЫХ ГРАВИТАЦИОННЫХ И МАГНИТНЫХ АНОМАЛИЙ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

Т.В. Меркулова, Л.Ф. Мишин

ФГБУН Институт тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН, ул. Ким Ю Чена 65, г. Хабаровск, 680000; e-mail: merkulova@itig.as.khb

Поступила в редакцию 12 ноября 2013 г.

В статье рассмотрена роль окислительно-восстановительных процессов в формировании и металлогении зон магматических пород мезозойско-кайнозойского возраста и исследовано соответствие этих зон региональным аномалиям гравитационного и магнитного полей. Отмечается приуроченность крупных региональных аномалий гравитационного и магнитного полей отрицательного знака к зонам пород ильменитовой серии (восстановительные условия) и, наоборот, региональных аномалий гравитационного и магнитного полей положительного знака к зонам пород магнетитовой серии (окислительные условия) на окраине Тихого океана (Сихотэ-Алинская и Охотско-Сунгарийская вулcano-плутонические системы). Выявленная закономерность свидетельствует о влиянии процессов, вызвавших становление зон магматических пород разного окислительно-восстановительного режима, на формирование литосферы региона, что отражается в региональных аномалиях гравитационного и магнитного полей. Исследован вклад вещественного состава и физических свойств магматических пород мезозойско-кайнозойского возраста разной степени окисленности в суммарный эффект региональных аномалий гравитационного и магнитного полей. Суммарный эффект региональных аномалий магнитного поля усиливается дифференциацией магматических пород разной степени окисленности по магнитным свойствам, а гравитационного поля – по вещественному составу.

Ключевые слова: окислительно-восстановительные условия, ильменитовая и магнетитовая серии, мезозойско-кайнозойские вулcano-плутонические системы, региональные гравитационные аномалии, региональные магнитные аномалии, Дальний Восток.

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы во многих публикациях исследуется формирование магматических пород в различных окислительно-восстановительных условиях, основным показателем которых служит летучесть кислорода (fO_2) [6, 10, 15, 22–26]. Однако причины разной степени окисленности магматических пород во многом еще остаются предметом дискуссии. Определяющее значение могут иметь как вариации термодинамического состояния и флюидного состава верхней мантии, так и условия и глубина становления магматических комплексов, геодинамический режим и другие факторы [6, 15].

В настоящее время на Дальнем Востоке изучены окислительно-восстановительные условия и металлогеническая специализация магматических комплек-

сов мезозойско-кайнозойского возраста, образующих крупные вулcano-плутонические системы [25]. Магматические комплексы разной степени окисленности образуют крупные региональные вулcano-плутонические системы, протягивающиеся вдоль окраины океана, что позволяет высказать предположение о связи их формирования с процессами субдукции. В областях развития островных дуг, согласно теории тектоники плит, исходный источник базальтовых проявлений осложнен привнесением в мантию вещества океанической коры, насыщенного окисленными флюидами, в результате ее погружения на большие глубины [15]. Влияние поступления окисленных флюидов на неоднородность верхней мантии на окраине Тихого океана подтверждается приуроченностью раннемеловых островодужных комплексов к зонам магматических

пород с окислительными условиями, а комплексов аккреционной призмы и турбидитовых отложений – к зонам магматических пород с восстановительными условиями (рис. 1). Этот факт показывает, что процессы становления магматических комплексов разной степени окисленности имеют большое значение для построения геодинамических моделей и изучения глубинного строения региона. Становление таких крупных магматических комплексов вызывает преобразование всей литосферы, что отражается в глубинной структуре: строении верхней мантии и земной коры, вариациях мощности, степени насыщенности отдельных слоев магматическими породами разного состава, дифференцированными по физическим свойствам, и, безусловно, должно найти отображение в геофизических характеристиках – региональных аномалиях гравитационного и магнитного полей.

Проведенные ранее исследования природы региональных аномалий гравитационного поля на Дальнем Востоке также свидетельствуют о большой роли в формировании литосферы региона процессов мезозойско-кайнозойского времени. В частности, природа минимумов силы тяжести объяснялась суммарным влиянием внутрикорового мезозойско-кайнозойского кислого магматизма (гранитоидных масс) и зон глубинного разуплотнения литосферы [2, 9, 16, 19, 21, 30, 42, 44]. Либо региональные минимумы силы тяжести связывались с разуплотнением только в земной коре под горноскладчатыми структурами в результате процесса изостатической компенсации топографических масс [32].

В данной работе исследовано соотношение региональных аномалий гравитационного и магнитного полей и зон магматических пород разной степени окисленности, что позволит установить степень влияния процессов становления этих пород на формирование литосферы региона и получить исходную информацию для построения геодинамических моделей. Данные о строении, составе, физических свойствах магматических пород разной степени окисленности позволят оценить роль этих факторов в формиро-

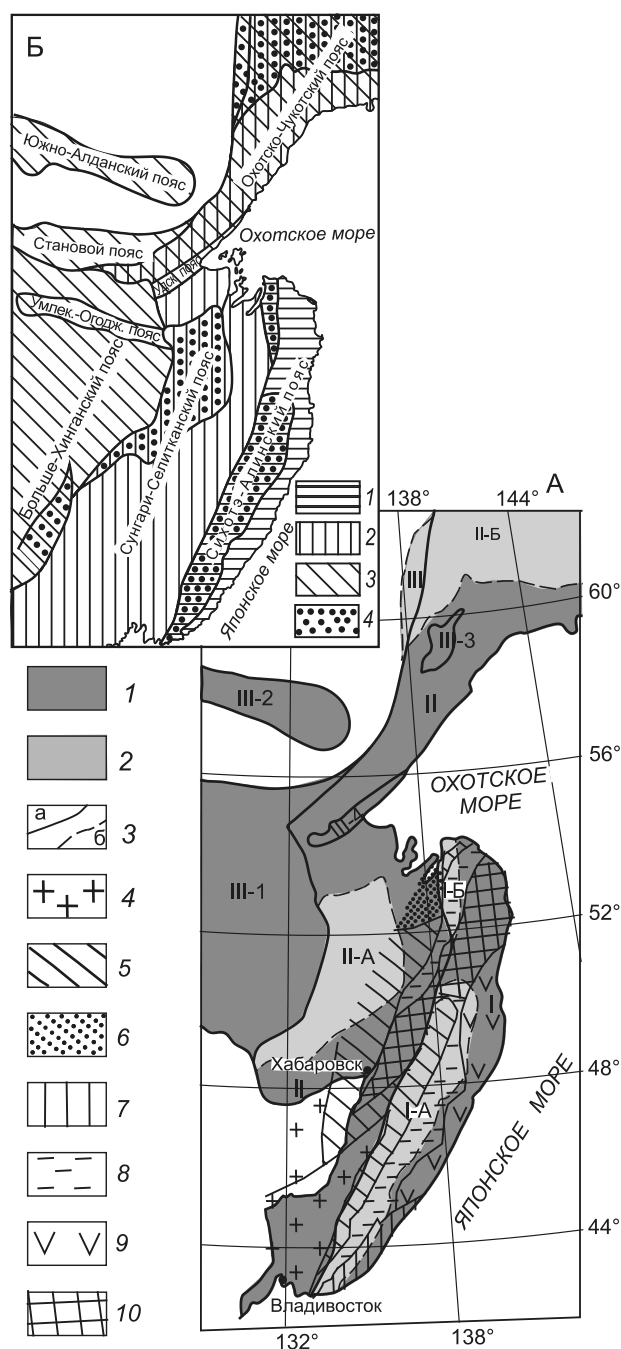


Рис. 1. Схема районирования вулcano-плутонических систем юга Дальнего Востока, по [25], и террейны юга Дальнего Востока, по А.И. Ханчук [11], с упрощениями.

А – 1, 2 – зоны вулcano-плутонических систем: 1 – зоны пород магнетитовой серии, 2 – зоны пород ильменитовой серии, 3 – границы разновозрастных магматических поясов (а) и границы зон ильменитовых и магнетитовых серий (б), 4–10 – террейны: 4 – домезозойские; 5, 6 – юрские: 5 – аккреционной призм, 6 – турбидитовые, 7–9 – раннемеловые: 7 – аккреционной призм, 8 – турбидитовые, 9 – островодужные; 10 – ранне-позднемеловые аккреционной призм.

Римские цифры – названия систем: I – Сихотэ-Алинская; II – Охотско-Сунгарийская; III – Удско-Большехинганская. Буквы и арабские цифры после названия систем – сегменты зон пород магнетитовой и ильменитовой серий.

Б – схема районирования вулcano-плутонических образований. 1–3 – вулcano-плутонические системы: сеноман-палеогеновая (1), апт (альб)-сеноманская (маастрих) (2), позднеюрско-раннемеловая (3), 4 – зоны пород ильменитовой серии.

нии региональных аномалий гравитационного и магнитного полей.

Взаимоотношение между физическими полями и основным возмущающим фактором – магматическими породами мезозойско-кайнозойского возраста – представляет интерес не только при изучении строения, состава и эволюции литосферы региона, но и при прогнозировании полезных ископаемых, так как окислительно-восстановительные условия определяют металлогеническую специализацию магматических комплексов.

РОЛЬ ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ В ФОРМИРОВАНИИ МЕЗОЗОЙСКО-КАЙНОЗОЙСКИХ ВУЛКАНО-ПЛУТОНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА И ИХ МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКОЙ СПЕЦИАЛИЗАЦИИ

Мезозойско-кайнозойские магматические породы в континентальной части Востока Азии образуют три разновозрастные системы (мегапоояса) с последовательным омоложением их в сторону океана: Удско-Большехинганская (поздняя юра–ранний мел), Охотско-Сунгарийская (альб–поздний мел) и Сихотэ-Алинская (поздний сеноман–кайнозой) (рис. 1). В рамках выделенных разновозрастных систем была установлена отчетливая продольная зональность: внутренние зоны (со стороны океана) сложены магматическими породами магнетитовой серии, а внешние – ильменитовой серии [23–25].

Впервые деление гранитоидов на магнитные и немагнитные было установлено на примере Северо-Востока России [33]. Тогда же была показана связь магнитных гранитоидов с халькофильной, а немагнитных с литофильной минерализацией. Впоследствии эти выводы нашли подтверждение на более обширном материале [23–25]. Магнитные и немагнитные гранитоиды в работе [46], за счет преобладания в первых магнетита, а во вторых акцессорного ильменита, получили название магнетитовая и ильменитовая серии. Вулканические породы при создании отмеченной классификации во внимание не принимались, поэтому сложилось ошибочное представление о появлении признаков магнетитовой и ильменитовой серий в связи со степенью открытости системы. При изучении петромагнитных характеристик и окисленности железа вулканических пород было установлено, что в вулканических породах не менее четко, чем в гранитах, выделяются магнетитовая и ильменитовая серии [23, 24].

Попытки понять геохимическую специализацию магматических пород привели авторов [23–25] к изучению роли летучести кислорода в магматических процессах. Было установлено, что магнетитовая и

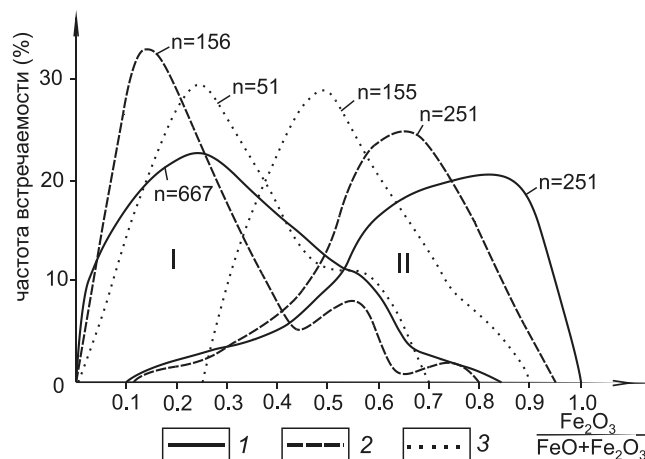


Рис. 2. Кривые распределения окисленности железа в вулканических и субвулканических породах оловяноносных (I – Баджальская, Куйдусинская, Ям-Алинская, Мяо-Чанская и Хингано-Яурин-Каменушинская) и золотоносных (II – Нижнеамурская, Ульинская, Преддзугджурская и Нижнебурейская) зон.

1 – риолитовая, 2 – андезитовая, 3 – базальтовая породные группы.

ильменитовая серии имеют региональное распространение и с окислительными условиями связан целый комплекс геохимических, минералогических, петрографических и геологических признаков, в том числе металлогеническая специализация магматических образований. Окислительно-восстановительные условия играют решающую роль в геохимических процессах, прежде всего с участием элементов переменной валентности. Влияние fO_2 на редокс-реакции хорошо изучено экспериментально. При фиксированной температуре и давлении для железа справедливо эмпирическое уравнение [6]

$$\log (Fe^{3+} / Fe^{2+}) = h/T + k \log fO_2 + S, \quad (1)$$

где h , k и S – константы, зависящие от состава расплава, T – температура кристаллизации.

Влияние давления на соотношение разновалентных форм изучалось экспериментально. Опыты с природными базальтовыми расплавами при давлении до 20 кбар показали весьма незначительное изменение Fe^{3+}/Fe^{2+} [6]. Сопоставление в конкретных магматогенных системах содержаний окисного и закисного железа плутонических и вулканических пород, кристаллизация которых происходила заведомо при разных температурах и давлении, подтверждает, что эти параметры не оказывали существенного влияния на соотношение окисного и закисного железа (рис. 2).

Окисленность железа в породах коррелируется с содержанием SiO_2 – линейно возрастает от базаль-

тов к риолитам [24]. Это позволяет, вводя поправку на содержание SiO_2 , оценить в условных единицах окислительные условия кристаллизации всего ряда магматических пород по следующей экспериментальной формуле [25]:

$$f' = (\text{Fe}_2\text{O}_3 / \text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3) + 0,38 - \text{SiO}_2 / 200. \quad (2)$$

Сопоставление формул (1) и (2) показывает их очевидное сходство, f' – не что иное, как летучесть кислорода, измеренная в условных единицах от (0) до (1). Наклон линий регрессии невелик, поэтому для близких по составу породных групп (граниты и вулканические породы кислого и среднего состава) может быть использована упрощенная формула:

$$f = \text{Fe}_2\text{O}_3 / \text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3. \quad (3)$$

Используя уравнение регрессии [27]:

$$-\log f\text{O}_2 = -9.4 f + 15, \quad (4)$$

можно перейти к непосредственным значениям $\log f\text{O}_2$.

Большинство геологических и минералогических признаков указывают, что разная окисленность железа в магматических породах имеет глубинную природу как следствие окислительных условий их кристаллизации [6, 15].

Надежным индикатором летучести кислорода при кристаллизации магматических пород может выступать распределение окисного, закисного и суммарного железа в породообразующих минералах. В окислительных условиях основная часть железа находится в трехвалентном состоянии и при кристаллизации пород связывается главным образом в раннем магнетите. Например, в Ульяновском прогибе (Охотско-Чукотский вулканический пояс) содержания магнетита в вулканических породах кислого состава достигают процента и более. После кристаллизации раннего магнетита в магме образуется дефицит железа, в результате темноцветные минералы обедняются этим элементом [25].

В породах, образующихся в восстановительной обстановке, железо находится в более подвижном двухвалентном состоянии [23] и связывается в темноцветных минералах, а рудный минерал в них представлен в основном ильменитом и частично, очевидно, выносятся.

Зоны с различной степенью окисленности железа также устойчиво различаются по петрографическому составу и формационной принадлежности пород. Для зон магнетитовой серии характерна пестрота и контрастность разрезов с преобладанием андезитов. Вверх по разрезу растет как контрастность, так и общая щелочность и калиевоность пород, завершается вулканизм обычно образованием платобазальтов, которые нередко переслаиваются с кислыми породами повышенной щелочности [25]. В зонах магнетитовой

серии среди вулканических и субвулканических пород кислого состава преобладает котектоидный тип с равновесным минеральным составом вкрапленников и основной массы [26], породы эвтектоидного типа встречаются, но крайне ограниченно. В зонах пород ильменитовой серии среди вулканитов резко преобладает эвтектоидный тип с неравновесным составом вкрапленников и основной массы. Породы этого типа отличаются от котектоидного типа наличием ранней, близкой по составу к габбро, ассоциации вкрапленников и основной массы состава гранитной эвтектики [26]. Акцессорные минералы в магматических породах, формирующихся в восстановительной обстановке, представлены ильменитом, ортитом и цирконом. В наиболее восстановленных породах отмечаются включения графита. Особенно представительны субвулканические дациты Тарынской структуры (правобережье верхнего течения р. Индигирки). Здесь графит в субвулканических дацитах ($f = 0.01-0.2$) образует отдельные чешуйки и мелкие до 5 мм нодулы. В гранодиоритах массива Труд, восточное обрамление Тарынского субвулкана, содержание графита в приконтактной зоне достигает 10–15 %, при размере нодул до 3 см и более. По данным [1], углерод включений графита из дацитов Тарынского субвулкана и гранитоидов в его обрамлении имеет величину $\delta^{13}\text{C}$ в пределах (-19.7 – -21.7 ‰). Авторы делают заключение, что изученный графит по изотопному составу соответствует наиболее тяжелым графитам магматических пород и является в среднем более тяжелым, чем углерод в осадочных породах, что свидетельствует о магматическом происхождении графита в рассматриваемых породах. В зонах ильменитовой серии иногда пространственно совмещены породы котектоидного и эвтектоидного типов, но эвтектоидный тип всегда резко преобладает. Верхняя основная часть разреза в зонах восстановленных пород везде сложена исключительно игнимбритами и игнимбритоподобными породами эвтектоидного типа.

Таким образом, по окислительным условиям, петрографическому и формационному составам окраинно-континентальные пояса состоят из парных вулкано-плутонических зон. Все отмеченные элементы продольной зональности относятся к Сихотэ-Алинской и Охотско-Сунгарийской системам, имеющим выдержанное простираие с отчетливой «тихоокеанской» ориентировкой. Менее ясно выражена зональность в позднюрско-раннемеловой Удско-Большехинганской системе. В этой системе породы, образовавшиеся в восстановительных условиях, представлены в виде отдельных разрозненных ареалов.

Особенно велико влияние окислительно-восстановительных условий на металлогеническую

специализацию магматических пород. При изменении степени окисления происходит смена валентности элементов, а разновалентные формы резко различаются химической активностью и растворимостью в расплавах и растворах. Растворимость Sn^{2+} в расплаве почти в 10 раз выше, чем растворимость Sn^{4+} [23–25]. По экспериментальным данным, медь, молибден и, по-видимому, золото при изменении окислительных условий ведут себя диаметрально противоположно Sn.

По этим причинам выделенные зоны с преимущественным распространением пород магнетитовой и ильменитовой серий одновременно являются зонами различной металлогенической специализации. Первые специализированы преимущественно на халькофильные элементы, а вторые – на литофильные. Некоторые элементы – Cu, Ag, Mo – полигенны, высокие их содержания иногда отмечаются в восстановленных породах в ассоциации с оловом и вольфрамом, однако золото-серебряные эпitherмальные, медно-порфиновые и медно-молибден-порфиновые месторождения сосредоточены исключительно в зонах пород магнетитовой серии, а все оловянные, олово-вольфрамовые и олово-серебряные – в зонах пород ильменитовой серии.

Необходимо также отметить, что с окислительными условиями связана глубина европиевого минимума в породах и содержание железа в темноцветных минералах, особенно контрастно это проявлено в биотите. Содержание железа в биотите зон с восстановительными условиями значительно выше, чем в зонах окисленных пород [23–25, 27].

Зоны с различными окислительными и восстановительными условиями образования вулканоплутонических систем отличаются также набором гидротермальных формаций. С ильменитовыми сериями связан более высокотемпературный состав гидротермальных преобразований, в них широко проявлена площадная биотитизация, которая, за исключением узких зон роговиков, не известна в породах магнетитовой серии. В то же время, в зонах окисленных пород присутствует цеолитовая фация площадных метасоматитов, и все известные цеолитовые месторождения расположены в зонах развития пород магнетитовой серии. Вторично-кварцитовая формация – также принадлежность ареалов распространения окисленных пород. Особенно резкие различия в зонах с разными окислительно-восстановительными режимами проявлены в распределении минералов, содержащих серу. В зонах пород магнетитовой серии поля пропилитизированных и аргиллитизированных пород, а также массивы вторичных кварцитов (на нижних срезах) сопровождаются обширными ореолами пиритизации. В

зонах пород ильменитовой серии таких площадных проявлений пиритизации не известно [25].

Выявленная на примере Дальнего Востока зональность в вулканоплутонических системах имеет универсальный характер – смена в сторону континента окисленных пород восстановленными отмечается в Южно-Корейском и в Южно-Китайском вулканических поясах и в Калифорнии [25, 45].

Окраинно-континентальное положение магматических систем, их региональный характер и однонаправленная смена от океана в сторону континента магнетитовой серии ильменитовой, такая же однонаправленная от океана в сторону континента смена формационного состава и металлогенической специализации магматических образований позволяют связать отмеченную зональность с зонами субдукций, скачкообразно смещающихся с запада на восток.

АНАЛИЗ СООТВЕТСТВИЯ РЕГИОНАЛЬНЫХ АНОМАЛИЙ ГРАВИТАЦИОННОГО ПОЛЯ ЗОНАМ ВУЛКАНО-ПЛУТОНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Под региональной компонентой гравитационного поля (как и магнитного) понимается поле, обусловленное неоднородностями и структурой глубинных частей. Существует много различных способов выделения региональной компоненты. В нашем случае выявление крупных участков минимальных и максимальных значений гравитационного поля и соответствующих им региональных аномалий гравитационного поля Дальнего Востока производилось с использованием мелкомасштабной карты силы тяжести в редукции Буге. Использование мелкомасштабных карт представляет собой своеобразный фильтр, избирательно действующий по отношению к аномальным полям, подчеркивая только те особенности, которые типичны для больших площадей. Основной особенностью поля силы тяжести в редукции Буге юга Дальнего Востока является чередование крупных участков (областей) минимальных и максимальных значений гравитационного поля.

На исследуемой территории отмечается достаточно высокая степень соответствия крупных минимумов гравитационного поля зонам пород ильменитовой серии (рис. 3). В пределах Сихотэ-Алинской системы обширная зона пород ильменитовой серии (I-A) полностью соответствует минимуму силы тяжести. Обе зоны пород ильменитовой серии Охотско-Сунгарийской системы (II-A, Б) приурочены к минимумам силы тяжести. Несовпадение зоны пород ильменитовой серии (II-A) с минимумом силы тяжести в северной части обусловлено неточностью оконтуривания зоны восстановленных пород, ввиду того, что породы магматического комплекса севернее гра-

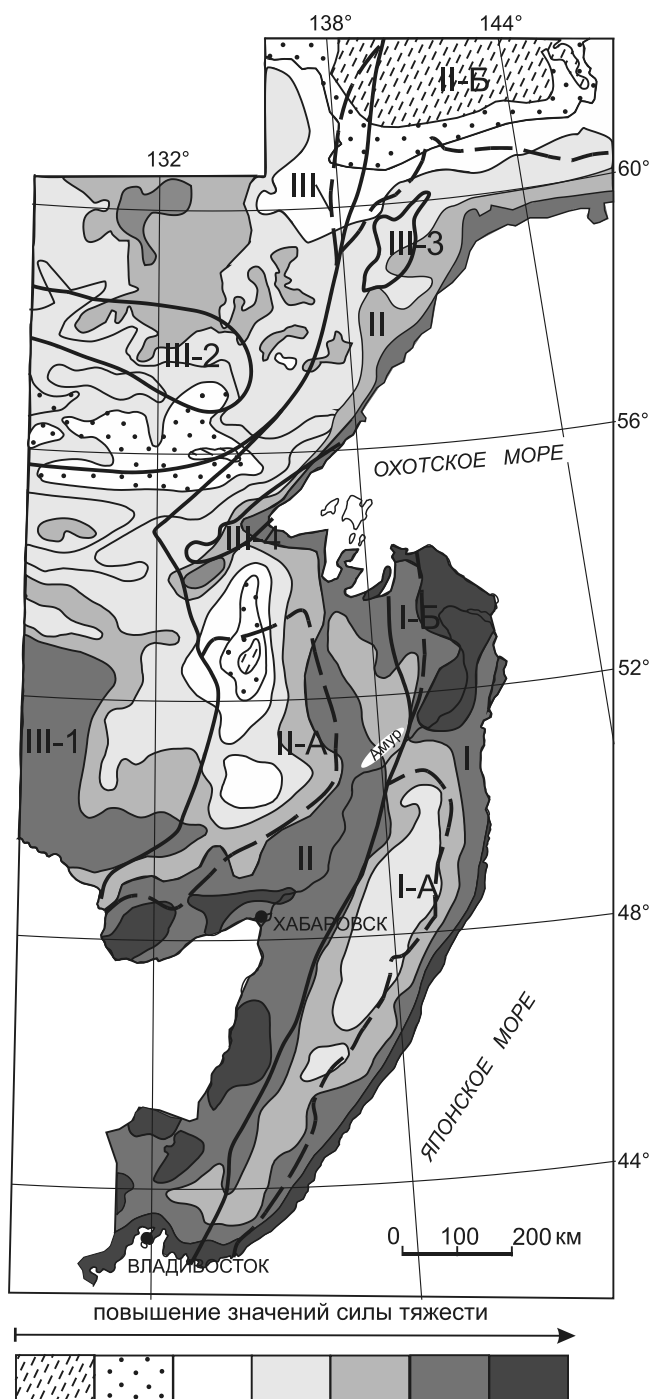


Рис. 3. Сопоставление аномального гравитационного поля в редукции Буге и зон вулcano-плутонических систем юга Дальнего Востока.

Остальные условные знаки см. на рис. 1.

ницы зоны имеют переходные характеристики между магнетитовой и ильменитовой серией. Возможно, на глубине принадлежность этих пород к ильменитовой серии проявлена лучше, чем на поверхности, и этот магматический комплекс правильнее включать в состав зоны с восстановительными условиями. Зона

пород ильменитовой серии Удско-Большехинганской системы также приурочена к минимуму силы тяжести. Соответствие небольшого по размерам сегмента (I-B) и минимума силы тяжести проявлено слабо.

Соответствие зон магнетитовой серии и максимумов силы тяжести выражено достаточно четко в пределах Сихотэ-Алинской и Охотско-Сунгарийской вулcano-плутонической систем. Для сегментов зон окисленных пород Удско-Большехинганской системы связь с максимумами силы тяжести проявлена слабее, чем в других поясах, за исключением сегмента (III-4), границы которого практически совпадают с небольшой по размерам интенсивной аномалией гравитационного поля положительного знака. Большой части сегмента III-1 также соответствует положительная аномалия. Сегмент III-2 расположен в зоне сочленения аномалий гравитационного поля разного знака.

Аналогично имеет место подобие зон магматических пород и аномалий мощности земной коры. Достаточно высокая степень соответствия аномалий мощности земной коры с зонами магматических пород разной степени окисленности отмечается в Сихотэ-Алинской и Охотско-Сунгарийской системах. Крупные сегменты пород ильменитовой серии приурочены к областям повышенной мощности земной коры (40 км и более), в то время как зоны пород магнетитовой серии соответствуют областям пониженной мощности (рис. 4). В пределах Удско-Большехинганской системы зона ильменитовых пород также коррелируется с аномалией повышенной мощности земной коры (более 40 км). В этой системе связь зон магнетитовых пород с аномалиями пониженной мощности земной коры выражена слабо, только для южной части сегмента III-1 характерно понижение мощности земной коры до 36 км.

АНАЛИЗ СООТВЕТСТВИЯ РЕГИОНАЛЬНЫХ АНОМАЛИЙ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗОНАМ ВУЛКАНО-ПЛУТОНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Региональные аномалии магнитного поля юга Дальнего Востока изучались с использованием спутниковых данных. Измерения магнитного поля на спутниковых высотах мало чувствительны к мелким структурам и телам, что позволяет выделять крупные региональные аномалии, не осложненные локальной компонентой. В данной работе использована модель магнитного поля NGDC-720 со сферическими гармониками 16–720, что соответствует длине волны от 56 км до 2 500 км [47, 49]. Модель получена с использованием данных спутника CHAMP (Германия), запущенного в 2000 г. с круговой орбитой (угол наклона 87.3°) и на средней высоте полета около 460 км. На рис. 5 показана низкочастотная составляющая верти-

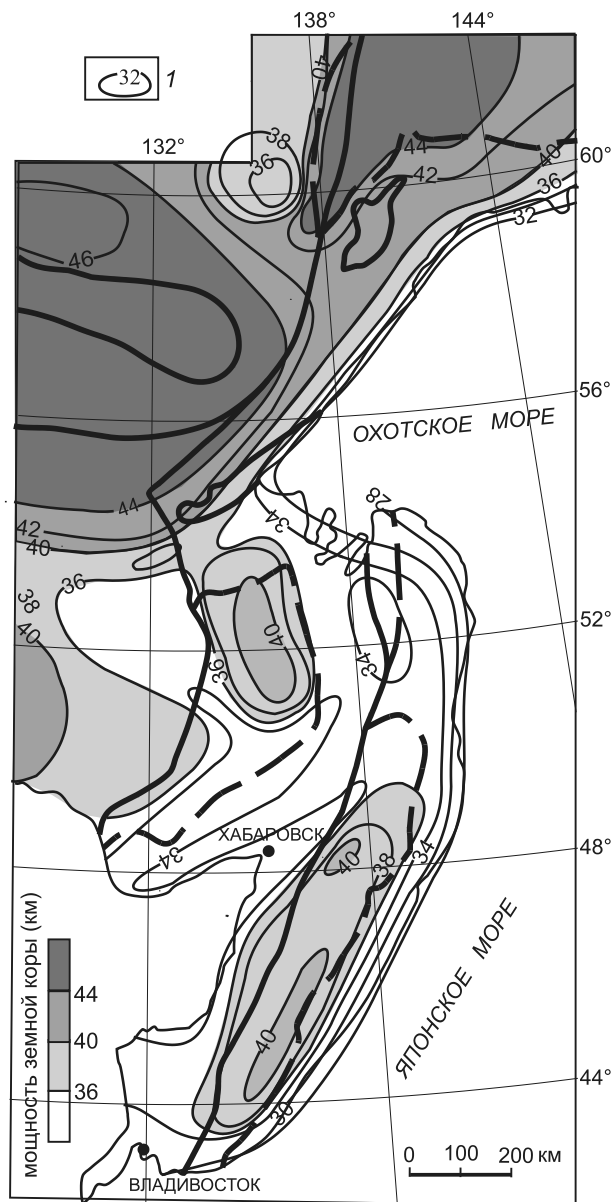


Рис. 4. Сопоставление мощности земной коры, по [41], и зон вулcano-плутонических систем юга Дальнего Востока.

I – изолинии мощности земной коры в км. Остальные условные знаки на рис. 1.

кальной компоненты магнитного поля, выделенная с помощью адаптивной фильтрации, реализованной в программе КОСКАД-3Д. Аномалии магнитного поля в общих чертах соответствуют ранее опубликованным спутниковым данным и отличаются только большей детальностью [48]. Для района работ характерны аномалии магнитного поля как отрицательного, так и положительного знака. Наблюдается высокий уровень соответствия отрицательных аномалий магнитного поля породам вулcano-плутонических систем, обра-

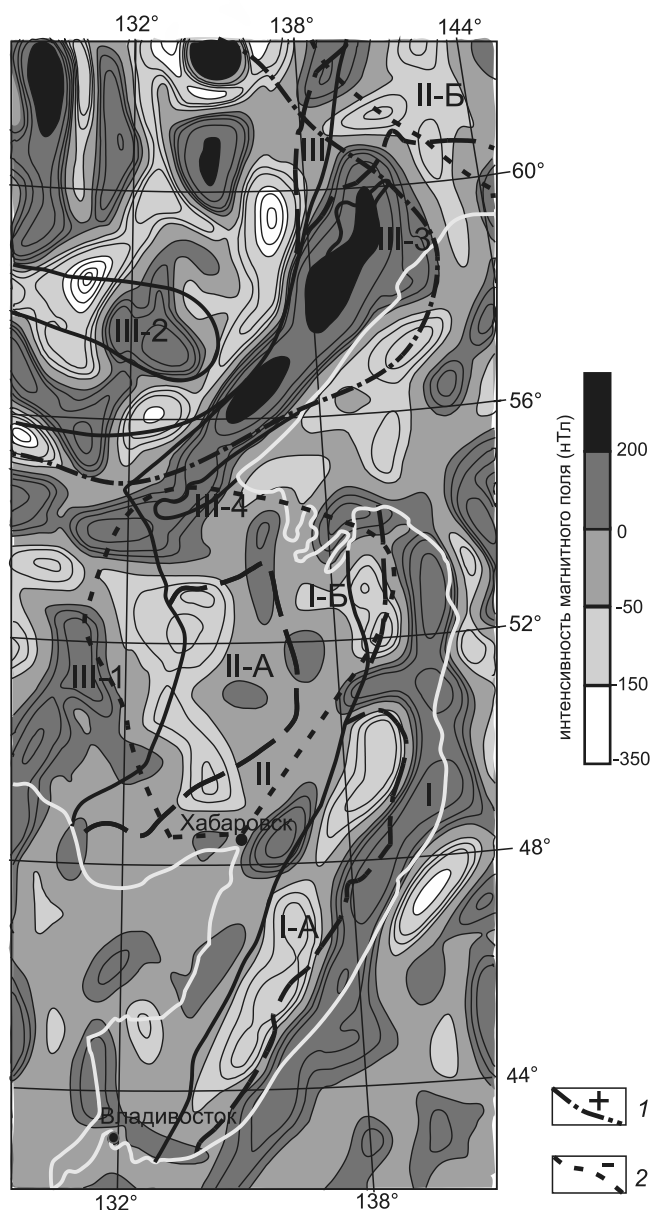


Рис. 5. Сопоставление аномального магнитного поля (вертикальная составляющая, данные спутниковых съемок, гармоники 16–720) и зон вулcano-плутонических систем юга Дальнего Востока.

I – границы аномалий положительного знака, по [48], *2* – границы аномалий отрицательного знака, по [48]. Остальные условные знаки на рис. 1.

зованным в восстановительных условиях. Практически полное совпадение аномалий отрицательного знака с зонами пород ильменитовой серии отмечается в пределах Сихотэ-Алинской вулcano-плутонической системы. Для зон ильменитовых пород Охотско-Сунгарийской системы характерен достаточно высокий уровень корреляции с интенсивными аномалиями отрицательного знака (-50 – -150 нТл), четкого совпадения границ

зон и аномалий магнитного поля не наблюдается. Данная магнитная аномалия и зона ильменитовых пород коррелирует с более крупной низкочастотной аномалией отрицательного знака, представленной в работе [48]. Соответствие пород ильменитовой серии отрицательным аномалиям магнитного поля в Удско-Большехинганской системе выражено слабее, где для южной части зон с восстановительными условиями характерно слабоотрицательное магнитное поле, а крайняя северная часть отмечается в зоне слабоинтенсивной аномалии положительного знака.

Интенсивные аномалии магнитного поля положительного знака всегда коррелируются только с зонами пород магнетитовой серии. Зона окисленных пород Сихотэ-Алинской системы полностью соответствует интенсивной положительной аномалии магнитного поля. В пределах Охотско-Сунгарийской системы наиболее интенсивные аномалии отмечаются в северной части (Ульинская и Преджугдурская зоны), для южной части характерны менее интенсивные аномалии положительного знака (0–200 нТл).

Соответствие сегментов пород магнетитовой серии Удско-Большехинганской системы с аномалиями положительного знака выражена слабее, чем в других системах. Для большей части сегмента (III-1) пород магнетитовой серии характерны аномалии положительного знака (0–200 нТл). Другой сегмент пород магнетитовой серии (III-2) приурочен к аномалиям как положительного, так и отрицательного знака. Природа региональных магнитных аномалий в этом сегменте была изучена раньше [8]. Сегмент находится в области обширной аномалии магнитного поля положительного знака (Алданской). Установлено, что аномалия обусловлена становлением плотных и высокомагнитных магматических комплексов, сформированных в нескольких тектонических циклах, в том числе и мезозойского возраста, в периоды прямой и обратной полярности магнитного поля [8]. В связи с этим, появление аномалии магнитного поля отрицательного знака в пределах зоны магнетитовых пород может объясняться обратной намагниченностью магматических пород.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В районе исследования высокий уровень соответствия региональных аномалий гравитационного и магнитного полей зонам магматических пород мезозойско-кайнозойского возраста разной степени окисленности характерен для окраинно-океанических вулcano-плутонических систем - Сихотэ-Алинской и Охотско-Сунгарийской. Имеет место приуроченность региональных аномалий гравитационного и магнитного поля отрицательного знака, областей

повышенной мощности земной коры к сегментам пород ильменитовой серии (I-A, II-A,Б). Напротив, аномалии гравитационного и магнитного полей положительного знака, области пониженной мощности коры соответствуют зонам пород с окислительными условиями образования (магнетитовая серия). Неполное совпадение минимума гравитационной поля с сегментом зоны ильменитовых пород (II-A) объясняется неточностью оконтуривания этого сегмента ввиду наличия здесь переходных пород между ильменитовой и магнетитовой сериями.

Соответствие региональных аномалий гравитационного поля и мощности коры зонам магматических пород мезозойско-кайнозойского возраста разной степени окисленности окраинно-океанических поясов Тихого океана, вероятно, носит универсальный характер. На тихоокеанском побережье Америки (п-ов Калифорния) наблюдается аналогичная ситуация (рис. 6). Интрузии гранитоидов мезозойского возраста делятся на западную (магнетитовую) и восточную (ильменитовую) зоны, граница между которыми простирается параллельно береговой линии. С запада на восток, согласно смене окисленных пород восстановленными, происходит уменьшение значений силы тяжести, рост мощности земной коры от 25 км на западе до 40 км на востоке [45]. Необходимо также отметить, что аномалии гравитационного поля вблизи окраины Тихого океана, как на побережье Дальнего Востока (Сихотэ-Алинская система), так и в Калифорнии характеризуются хорошо выраженной линейностью.

Описанное выше соответствие в Удско-Большехинганской системе проявлено слабее. Однако роль мезозойско-кайнозойской перестройки в формировании литосферы и, соответственно, региональных геофизических аномалий все-таки достаточно существенна. Также наблюдается приуроченность пород ильменитовой серии к минимуму силы тяжести. Подobie границ пород магнетитовой серии очертаниям положительных аномалий выражено нечетко, однако большая часть крупного сегмента (III-1) находится в области региональных аномалий положительного знака как гравитационного, так магнитного полей, а площадь сегмента (III-4) практически полностью совпадает с положительной аномалией гравитационного поля.

Большинство исследователей основную роль в формировании региональных гравитационных аномалий отводят неоднородностям верхней мантии [2–5, 38]. Существует мнение о разуплотнении в пределах минимумов региональных аномалий только в земной коре [32]. Уровень глубинности источников региональных аномалий гравитационного поля может быть оценен при помощи моделирования. Однако

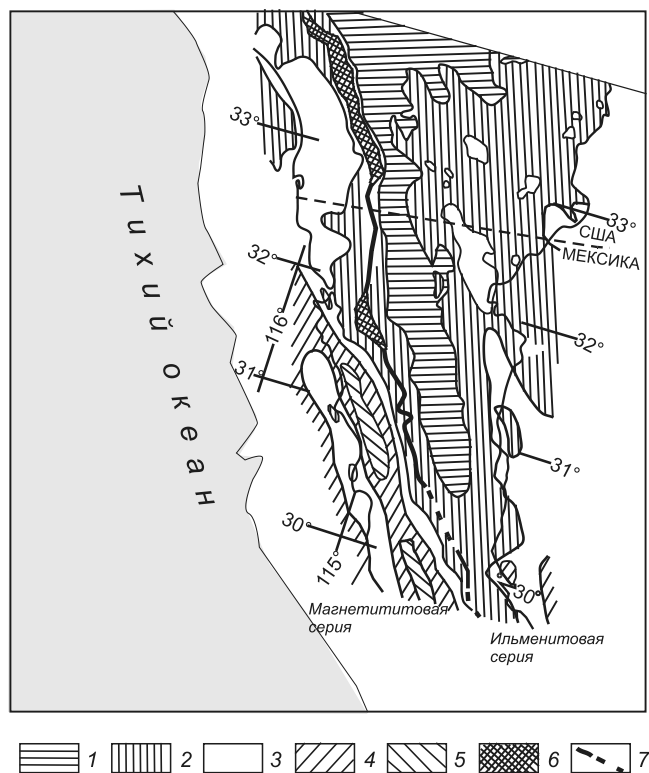


Рис. 6. Соотношение гравитационного поля и границы магнетитовой и ильменитовой серий гранитоидов мезозойского возраста в северной части штата Калифорния, по [45].

1–5 – значения Δg , миллигал: 1 – < -70 ; 2 – от -30 до -70 ; 3 – от -10 до -30 ; 4 – от -10 до $+10$; 5 – $> +10$; 6 – зона перекрытия магнетитовой и ильменитовой серий; 7 – граница магнетитовой и ильменитовой серий.

результаты гравитационного моделирования, выполненные разными авторами, противоречивы. Моделирование по профилю глубинных сейсмических работ Свободный–Комсомольск-на-Амуре (ГСЗ), пересекающему зону пород ильменитовой серии Охотско-Сунгарийской системы, демонстрирует связь минимумов силы тяжести как с разуплотнением в земной коре, так и с низкоплотными неоднородностями верхней мантии [3–5]. По данным В.Я. Подгорного и Н.П. Романовского [36], обширная область пониженной плотности в нижней коре контролируется узкой зоной разуплотнения в верхней мантии над выступом астеносферы. Рельеф кровли астеносферы определен по геотермическим данным, поэтому купол представляет собой источник повышенной температуры [36]. Возможно, одним из факторов появления неоднородности низкой плотности в верхней мантии является повышенная температура, что согласуется с высокотемпературным набором гидротермальных формаций в пределах этих зон на земной поверхности. Связь с глу-

бинными процессами подтверждается построением петроплотностных срезов, которые свидетельствуют о разуплотнении литосферы в пределах региональных минимумов силы тяжести до глубин 40 км и более, что указывает на то, что корни «восстановительной» флюидной системы уходят в верхнюю мантию [39].

Косвенно разуплотнение в верхней мантии в пределах минимумов силы тяжести может подтверждаться зонами пониженных скоростей по данным ГСЗ и низкоомными областями по данным МТЗ. Изученность верхней мантии глубинными сейсмическими зондированиями района работ слабая, но в некоторых случаях имеет место понижение граничной скорости на границе земной коры с мантией (менее 8.0 км/сек) по профилю Свободный–Комсомольск-на-Амуре в пределах минимума силы тяжести (западная часть пород ильменитовой серии (II-A) [3, 37]. Результаты МТЗ в Баджалском и Комсомольском рудных районах, расположенных в краевых частях зоны ильменитовых пород (II-A), свидетельствуют о низкоомной верхней мантии, воздымающейся к подошве земной коры и проникающей в нее восходящими зонами аномально низких сопротивлений (менее 100 Ом·м) [17].

Работы МТЗ по профилям г. Благовещенск–п. Биракан и г. Облучье–г. Ванино указывают на существование низкоомных неоднородностей в пределах минимумов гравитационного поля только в верхней мантии (зона ильменитовых пород Охотско-Сунгарийской системы) и как в верхней мантии, так и нижней коре (ильменитовые породы Сихотэ-Алинской системы) [7, 17].

Сопоставимость зон пород ильменитовой серии с областями повышенной мощности земной коры и пород магнетитовой серии с аномалиями пониженной мощности земной коры позволяет утверждать, что процессы становления магматических пород разного окислительно-восстановительного режима также сопровождались изменением мощности земной коры.

Кроме глубинных неоднородностей и общей мощности земной коры вклад в суммарный эффект региональных аномалий гравитационного поля может вносить состав магматических пород, ввиду того, что породы среднего и основного состава всегда характеризуются большей плотностью по сравнению с породами кислого состава. Анализ формационного и петрографического составов пород разной степени окисленности показал: в окислительных условиях происходит образование пород преимущественно среднего и основного состава, в восстановительных условиях распространены породы преимущественно кислого состава, что не исключает появление пород кислого состава в первых

и среднего и основного состава во вторых. Обнаруженные в пределах зон с восстановительными условиями породы среднего состава, как правило, маломощны и, вероятнее всего, их существование возможно только в близповерхностных условиях.

Процессы становления магматических пород с разными окислительно-восстановленными условиями могут оказывать влияние на физические свойства пород. Для однотипных пород в пределах зон ильменитовых и магнетитовых серий наблюдаются различия в плотностных свойствах только у пород кислого состава. Плотность гранитоидов в зонах с восстановительными условиями образования составляет 2.59–2.65 г/см³, в то время как плотность гранитоидов в зонах с окислительными условиями – 2.51–2.59 г/см³ (табл.). Породы кислого состава верхней части зон ильменитовой серии характеризуются неравновесным минеральным составом вкрапленников и основной массы («эвтектоидный» тип), отличаются от «котектоидного» типа, широко распространенного в зонах с окислительными условиями, наличием ранней, габбровой по составу ассоциации вкрапленников. Вероятно, присутствие габбровой ассоциации вкрапленников в породах кислого состава ильменитовых зон является причиной их повышенной плотности. Детальные исследования физических свойств гранитоидов подтверждают эту закономерность. Гранитоиды в пределах Баджало-Ямалинской зоны (зона ильменитовых пород Охотско-Сунгарийской системы), центральной части Сихотэ-Алиня (зона ильменитовых пород Сихотэ-Алинской системы), относятся к группе слабомагнитных гранитоидов с повышенной и нормальной плотностью [14]. Различия в плотностных свойствах кислых пород зон магматических пород разной степени окисленности на формирование гравитационных региональных аномалий оказывают слабое влияние в виду того, что породы кислого состава в зонах магнетитовых серий присутствуют в небольшом объеме по сравнению с породами среднего и основного состава.

Изучению природы региональных аномалий магнитного поля на Дальнем Востоке внимания уделялось мало. Только, Н.Б. Дортман высказала предположение, что наблюдаемые в регионе крупные линейные аномалии магнитного поля могут быть обусловлены структурами с последовательным смещением магматических очагов по вертикали и горизонтали, свидетельствующим о сложном изменении термодинамических условий в мантии и коре [13]. Исследователи в других регионах, как правило, региональные магнитные аномалии (поперечник более нескольких десятков км) связывают с магматическими породами в средней или нижней коре [31, 34, 35].

Нижняя граница источников региональных магнитных аномалий варьирует в зависимости от принятой модели от 15–20 до 40 км и более, достигая границы Мохо или ограничиваясь глубиной достижения 580°C (температура Кюри магнетита) [20, 28, 29]. В пределах зон ильменитовой серии Охотско-Сунгарийской системы (II-A) по профилю Свободный–Комсомольск-на-Амуре температура 580° достигается на глубинах порядка 25–30 км [12]. Однако в пределах минимумов силы тяжести и, соответственно, зон ильменитовых пород большинство исследователей область влияния гранитоидов ограничивают верхне-среднекоревым уровнем (не более 15–17 км) [38].

В зоне пород магнетитовой серии Удско-Большехинганской системы по профилю Тында–Амурзет (III-1) температура 580° С достигается на глубинах около 40 км [12]. Точно определить нижнюю глубину распространения магматических образований в пределах зон пород разной степени окисленности на данном этапе невозможно, но можно утверждать, что источниками магнитных аномалий являются магматические породы в земной коре, дифференцированные по магнитным свойствам, так как анализ физических свойств магматических пород разной степени окисленности в регионе выявил их значительную дифференциацию по магнитным свойствам. Все магматические породы зон с окислительными условиями, в том числе и кислого состава, магнитны, и, напротив, в зонах с восстановительными условиями породы, включая редкие выходы пород среднего и основного состава, практически не магнитны (табл.).

В основном соответствие зон магматических пород разной степени окисленности региональным магнитным аномалиям разного знака выражено лучше, чем региональным аномалиям гравитационного поля, что объясняется большей глубиной источников гравитационного поля. Движение флюидов от глубинных источников может осуществляться как по субвертикальным разрывам, так и по наклонным разломам, и тогда магматические комплексы в земной коре формируются как непосредственно над глубинными источниками, так и могут быть удалены от них. Этот факт в некоторых случаях объясняет несоответствие гравитационных аномалий сегментам магматических пород. Небольшой по размерам сегмент зоны ильменитовых пород (I-Б) Сихотэ-Алинской системы коррелируется с аномалией отрицательного знака магнитного поля, но отмечается в зоне гравитационного поля положительного знака. Вероятно, движение флюидов при образовании этого сегмента происходило по наклонному разлому от глубинного источника, расположенного к юго-западу, где имеет место аномалия гравитационного поля отрицательного знака.

Таблица. Средняя плотность и магнитная восприимчивость некоторых магматических комплексов зон пород ильменитовой и магнетитовой серий, по [40, 43].

Название комплексов	Название породы	Средняя плотность σ (г/см ³)	Средняя магнитная восприимчивость $\chi \cdot 10^{-6}$ СИ
Зоны пород ильменитовой серии			
Баджальский комплекс	Граниты	2.59	23
	Диориты	2.77	15
	Субвулканические риолиты	2.57	40
	Дациандезиты	2.61	96
Ям-Алинский комплекс	Граниты	2.54	1
	Гранодиориты	2.63	58
	Риолиты	2.58	6
Зоны пород магнетитовой серии			
Ульинская зона	Диориты	2.62	2457
	Базальты	2.51	2457
	Диориты	2.77	1374
Куйдусунская зона	Габбро	2.72	3310
	Граниты	2.57	551
Западно-Сихотэ- Алинский пояс	Граниты	2.59	1215
	Граносиениты	2.59	3038
Восточно- Сихотэ-Алинский пояс	Гранодиориты	2.63	25416
	Граниты	2.51	2287
	Порфириты	2.6	37710
	Габбро	2.82	60189

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный анализ соответствия магматических зон пород разной степени окисленности мезозойско-кайнозойского возраста региональным аномалиям гравитационного и магнитного полей позволяет сделать следующие выводы.

1. Наблюдается высокая степень соответствия магматических комплексов разной степени окисленности региональным аномалиям гравитационного и магнитного полей в Сихотэ-Алинской и Охотско-Сунгарийской системах и менее выраженная – в Удско-Большехинганской системе. Установленное соответствие указывает на существенное влияние процессов, вызвавших становление магматических пород разного окислительно-восстановленного режима, на формирование литосферы региона. Установленные закономерности могут быть использованы в качестве основы для построения геодинамических моделей и изучения глубинного строения региона.

2. Анализ состава и физических свойств магматических пород разной степени окисленности выявил распределение их в зонах по этим признакам. Суммарный эффект региональных гравитационных аномалий отрицательного знака усиливается преимущественно

кислым составом магматических пород ильменитовой серии, а эффект региональных гравитационных аномалий положительного знака усиливается магматическими породами магнетитовой серии преимущественно среднего и основного состава. Формирование региональных аномалий магнитного поля разного знака связывается с насыщением земной коры магматическими породами разной степени окисленности, дифференцированными по магнитным свойствам.

4. Соответствие зон магматических пород с восстановительными условиями аномалиям гравитационного и магнитного полей отрицательного знака и зон окисленных пород аномалиям положительного знака в Сихотэ-Алинской и Охотско-Сунгарийской системах позволяют использовать особенности металлогении магматических пород разной степени окисленности для оценки металлогенической специализации районов гравимагнитных аномалий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бахарев А.Г., Шкодзинский В.С., Жданов Ю.Я. Графитсодержащие кислые магматические породы Тас-Кыстабытского магматического пояса Верхояно-Колымской складчатой области // Отч. геология. 2005. № 5. С. 54–57.

2. Белогуб В.Н., Шапочка И.И., Романовский Н.П. Место мезо-кайнозойского магматизма в тектоническом развитии Приамурья и некоторые элементы металлогении // Мезо-кайнозойский тектоногенез. Магадан, 1971. С. 279–284.
3. Брянский Л.И., Подгорный В.Я. Гравиметрическая модель глубинного строения земной коры по профилю Свободный–Комсомольск-на-Амуре–мыс Сюркум // Тихоокеан. геология. 1984. № 5. С. 76–81.
4. Брянский Л.И. Плотностная структура земной коры и верхов мантии советской части Азиатской окраины: проблемы и результаты гравитационного моделирования // Проблемы тектоники и энергетические и минеральные ресурсы Северо-Западной Пацифики. Хабаровск: Приамур. фил. Географ. о-ва СССР, ДВО АН СССР, 1992. Ч. 1. С. 9–17.
5. Брянский Л.И. Плотностная структура земной коры и верхов мантии восточной окраины Азиатского континента. Владивосток: Дальнаука, 1995. 143 с.
6. Борисов А.А., Жаркова Е.В., Кадик А.А. Флюиды и окислительно-восстановительные равновесия в магматических системах. М.: Наука, 1991. 256 с.
7. Бормотов В.А., Меркулова Т.В. Кайнозойский этап развития северной ветви Тан-Лу-Охотской рифтовой системы: глубинное строение и сейсмогеодинамика // Тихоокеан. геология. 2012. Т. 32, № 1. С. 26–41.
8. Витте Л.В., Василевский А.Н., Павлов Е.В. Региональные магнитные и гравитационные аномалии Сибирского кратона и их геологическая природа // Геофиз. журн. 2009. Т. 31, № 6. С. 21–40.
9. Волчанская И.К., Кулинич Р.Г., Фаворская М.А., Шило Г.К. О некоторых методах выявления магмо- и рудоконтролирующих структур // Новые данные по магматизму и минерализации в рудных районах Востока СССР. М.: Наука, 1971. С.14–28.
10. Геншафт Ю.С. Окислительно-восстановительные условия в литосфере и мантийный магмогенезис // Геофиз. исслед. 2006. Т. 28, № 5. С. 52–56.
11. Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России. Кн.1 / Под ред. А.И. Ханчука. Владивосток: Дальнаука, 2006. 572 с.
12. Горнов П.Ю., Горошко М.В., Малышев Ю.Ф., Подгорный В.Я. Геотермические разрезы земной коры области сочленения Центрально-Азиатского и Тихоокеанского поясов и смежных платформ // Геология и геофизика. 2009. Т. 50, № 5. С. 630–647.
13. Дортман Н.Б. Влияние термодинамических условий образования магматических пород на их магнитную характеристику // Магнитные аномалии земных глубин. Киев: Наук. Думка, 1976. С. 96–105.
14. Дубинчик Э.Я., Путинцев В.К. Плотность и магнитная восприимчивость гранитоидных комплексов южной части Дальнего Востока как показатели условий их формирования // Сов. геология. 1971. № 12. С. 30–43.
15. Кадик А.А., Луканин О.А. Дегазация верхней мантии при плавлении. М.: Наука, 1986. 96 с.
16. Каплун В.Б. Геоэлектрическая модель литосферы Комсомольского и Баджальского рудных районов // Тихоокеан. геология. 2004. Т. 23, № 6. С. 84–93.
17. Каплун В.Б. Геоэлектрический разрез литосферы Амурской осадочной бассейна по профилю МТЗ г. Благовещенск–п. Биракан // Тихоокеан. геология. 2012. Т. 31, № 2. С. 41–53.
18. Кулинич Р.Г. Особенности глубинного строения и эндогенная рудоносность мезозой южной части Сихотэ-Алиня // Мезозойский тектоногенез: Материалы VII сессии науч. совета по тектонике Сибири и Дальнего Востока. Магадан, 1971. С. 284–289.
19. Лишневский Э.Н. Региональные аномалии силы тяжести и рельеф поверхности Мохоровичича территории Дальнего Востока СССР // Геофизические поля северо-запада Тихоокеанского подвижного пояса. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1976. С. 20–31.
20. Магнетизм и условия образования изверженных горных пород. М.: Наука, 1975. 288 с.
21. Малышев Ю.Ф., Парфенов Л.М., Рейнлиб Э.Л., Романовский Н.П. Гравитационные аномалии Дальнего Востока // Районирование геофизических полей и глубинное строение Дальнего Востока. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1977. С.18–29.
22. Мишин Л.Ф. К тектонике окраинно-континентальных вулканических поясов Востока Азии // Тихоокеан. геология. 1986. № 6. С. 106–111.
23. Мишин Л.Ф., Петухова Л.Л. Окисленность железа как показатель металлогенической специализации вулканоплутонических комплексов на примере Востока СССР // Тихоокеан. геология. 1990. Т. 22, № 3. С. 69–77.
24. Мишин Л.Ф., Романовский Н.П. Окислительно-восстановительные обстановки формирования и металлогеническая специализация рудно-магматических систем юга Дальнего Востока // Тихоокеан. геология. 1992. № 6. С. 31–42.
25. Мишин Л.Ф., Чжао Чунцин, Солдатов А.И. Мезозойско-кайнозойские вулканоплутонические пояса и системы в континентальной части Востока Азии и их зональность // Тихоокеан. геология. 2003. Т. 22, № 3. С. 28–47.
26. Мишин Л.Ф. Эвтектоидный и котектоидный петрографические типы вулканических и субвулканических пород кислого состава окраинно-континентальных вулканических поясов (на примере Востока Азии) // Тихоокеан. геология. 2009. Т. 28, № 6. С. 69–85.
27. Никольский Н.С. Термодинамика минеральных равновесий базитов. М.: Наука, 1978. 176 с.
28. Орлюк М.И. Пространственные и пространственно-временные магнитные модели разноранговых структур литосферы континентального типа // Геофиз. журн. 2000. Т. 22, № 6. С. 148–165.
29. Орлюк М.И., Пашкевич И.К. Глубинные источники региональных магнитных аномалий: тектонотипы и связь с трансформными разломами // Геофиз. журнал. 2012. Т. 34, № 4. С. 224–234.
30. Павлов Ю.А., Рейнлиб Э.Л. Гравитационные аномалии и гранитоидный магматизм юга Дальнего Востока. М.: Наука, 1982. 86 с.
31. Пашкевич И.К., Марковский В.С., Орлюк М.И., Елисеева С.В., Мозговая А.П., Таращан С.А. Магнитная модель литосферы Европы. Киев: Наук. Думка, 1990. 168 с.
32. Петрищевский А.М. О гранитах, гранитизации и природе региональных разуплотнений земной коры на Дальнем Востоке // Геотектоника. 1985. № 5. С. 80–90.
33. Печерский Д.М. Магнитные свойства гранитоидов Северо-Востока СССР // Магнитные свойства изверженных пород. Магадан, 1964. С. 6–158.

34. Печерский Д.М., Генштафт Ю.С. Петромагнетизм континентальной литосферы и природа региональных магнитных аномалий: Обзор // Рос. журн. наук о Земле. 2001. Т. 3, № 2. С. 97–124.
35. Печерский Д.М., Орлюк М.И., Пашкевич И.К. Магнетизм низов земной коры континентов: развитие результатов исследования и идеи З.А. Крутиховской // Геофиз. журн. 2006. Т. 28, № 5. С. 40–52.
36. Подгорный В.Я., Романовский Н.П. Плотностная модель Баджальско-Ямалинского гравитационного минимума (Дальний Восток, Россия) // Тектоника, магматизм и геодинамика Востока Азии: VII Косыгинские чтения: Материалы Всерос. конф., 12–15 сентября 2011, г. Хабаровск. Хабаровск: ИТиГ им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН, 2011. С. 302–305.
37. Потапьев С.В. Результаты глубинного зондирования в Хабаровском крае // Сов. геология. 1979. № 3. С. 84–97.
38. Романовский Н.П., Рейнлиб Э.Л. О мантийной природе зон разуплотнения притихоокеанских орогенных сооружений // Тихоокеан. геология. 1984. № 2. С. 87–89.
39. Романовский Н.П., Рейнлиб Э.Л., Вашилов Ю.Я. О глубинной природе рудно-магматических систем Тихоокеанского типа // Тихоокеан. геология. 1992. № 2. С. 66–78.
40. Сокарев А.Н., Кулинич Р.Г., Прошкина З.Н. Петрофизика Япономорского сектора зоны перехода от континента к Тихому океану: Справочник физических свойств горных пород. Владивосток: Дальнаука, 2010. 216 с.
41. Тектоника, глубинное строение, металлогения области сочленения Центрально-Азиатского и Тихоокеанских поясов: Объясн. зап. к Тектонической карте м-ба 1: 1 500 000. Владивосток-Хабаровск: ДВО РАН, 2005. 264 с.
42. Тектоническая природа геофизических полей Дальнего Востока. М.: Наука, 1984. 200 с.
43. Физические свойства горных пород Дальнего Востока / Справочник. В 2-х частях. Владивосток: ДВО РАН, 1987. Ч. 1. 212 с.
44. Шапочка И.И., Головкин Б.А., Шанцын К.А. Характер физических полей и природа аномалий Хабаровского края и Амурской области // Магматические комплексы Дальнего Востока. Владивосток, 1971. С. 181–187.
45. Gastil G. The boundary between magnetite-series and ilmenite-series granitic rocks in peninsular California // Recent advances in concepts concerning zones plutons in Japan and Southern and Baja California. Tokyo, 1990. P. 91–100.
46. Ishihara S. The magnetite-series and ilmenite-series granite rocks // Miner. Geol. 1977. V. 27. P. 293–305.
47. Hemant K. Modeling and interpretation of global lithospheric magnetic anomalies: Digital dissertation. Berlin, 2003. www.diss.fu.berlin.de/2003/270/indexe.html.
48. Hemant K., Maus S., Haak V. Interpretation of CHAMP crustal field anomaly maps using a geographical information system (GIS) technique // Earth Observation with CHAMP: Results from Three Years in Orbit. 2005. P. 249–254.
49. Maus S., Rother M., Hemant K., Stolle C., Lühr H., Kuvshinov A. Earth's lithospheric harmonic degree 90 from CHAMP satellite measurements // Geophys. J. Int. 2006. V. 164, N 2. P. 319–330.

Рекомендована к печати А.Н. Диденко

T.V. Merkulova, L.F. Mishin

Oxidation-reduction processes in Mesozoic-Cenozoic volcano-plutonic systems and their role in the formation of regional gravity and magnetic anomalies, the Far East

The paper considers the role played by oxidation-reduction processes in the formation of zones of Mesozoic-Cenozoic magmatic systems and their metallogeny. The correspondence of these systems to the regional gravity and magnetic anomalies is investigated. It is noted that at the Pacific margin (Sikhote-Alin and Okhotsk-Sungari systems) the major regional negative gravity and magnetic anomalies are attributed to the zones of the ilmenite-series rocks (reduction conditions) and, on the contrary, the positive regional gravity and magnetic anomalies are confined to the magnetite-series rocks (oxidation conditions). The revealed regularity testifies that the processes causing the formation of magmatic rocks with different oxidation-reduction regime influence the formation of the lithosphere of the region. These processes are reflected in the occurrence of the regional gravity and magnetic anomalies. The contribution of the substantial composition and physical properties of Mesozoic-Cenozoic magmatic rocks of different degree of oxidation and the cumulative effect of the regional gravity and magnetic anomalies have been investigated. The cumulative effect of the regional gravity anomalies is enhanced by differentiation of magmatic rocks with different degree of oxidation according to the substantial composition, whereas for the regional magnetic anomalies – according to the magnetic properties.

Key words: oxidation-reduction conditions, ilmenite and magnetite series, Mesozoic-Cenozoic volcano-plutonic systems, regional gravity anomalies, regional magnetic anomalies, the Far East.