

## КОМПЛЕКСНЫЕ ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ И МОРФОТЕКТОНИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ИЗ КОСМОСА КАК ОСНОВА ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ РАБОТ

© 2024 г. А. А. Гаврилов<sup>1</sup>, \*

<sup>1</sup>Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, Владивосток, Россия

\*E-mail: gavrilov@poi.dvo.ru

Поступила в редакцию 09.02.2024 г.

Недооценка комплексного применения геоморфологической, морфотектонической информации и материалов космических съемок при проведении тематических геологических исследований, геолого-съемочных, прогнозно-поисковых работ существенно снижает их эффективность. Одна из возможных причин этого — несовершенство методологии геоморфологических исследований, ориентированных на изучение рельефа территорий как совокупности поверхностей геологических тел. Перспективы открывает переход к изучению форм рельефа и геологических структур, тел в их единстве, как трехмерных, объемных объектов. Принципиально новые возможности для изучения геологии дна морей и океанов связаны, в частности, с визуализацией цифровых 3D моделей рельефа, создаваемых на основе глобальной базы батиметрических данных GEBCO 2014, региональных карт эхолотных промеров, материалов альтиметрии и дистанционного зондирования Земли из космоса. Актуальность таких исследований во многом связана с тем, что геологические модели, базирующиеся на идеях тектоники плит, не могут объяснить многие особенности строения, развития рельефа Земли и отдельных регионов. На ряде примеров показано, что современную геоморфологию в комплексе с морфотектоникой, методами дистанционного зондирования из космоса и компьютеризации необходимо рассматривать как одну из необходимых дисциплин для проведения работ, нацеленных на решения различных геологических задач. Дальнейшее развитие наук о рельефе планеты (геоморфология + морфотектоника) определяет необходимость подготовки геоморфологов как на географических, так геологических факультетах вузов.

*Ключевые слова:* морфотектоника, морфоструктурный анализ, цифровые 3D модели рельефа, космическая геология, очаговая геодинамика, плюмовая тектоника

DOI: 10.31857/S0205961424040079, EDN: ELVSPH

### ВВЕДЕНИЕ

Существующие в настоящее время достижения в исследованиях Земли из космоса (геодезия с программами SLR, DORIS, GPS, методики космической геологии, спутниковая альтиметрия и др.), разработки, связанные с созданием баз гипсометрических батиметрических данных и глобальных цифровых моделей рельефа (ЦМР) в рамках программ ETOPO1, ETOPO2, GEBCO 2014, Google Earth Pro, очевидные успехи в морфоструктурном и морфотектоническом изучении рудоносных территорий (Волчанская, 1981; Середин, 1987; Томсон и др., 1992; Гаврилов, 1993, 2017, 2022а; и др.), а также совершенствование геоинформационных технологий (ГИС) существенно повышают возможности и статус геоморфологии, выводя ее на качественно иной уровень. Несмотря на эти очевидные успехи и рост объемов и значения матери-

алов дистанционного изучения Земли из космоса в РФ имеет место парадоксальная ситуация: вместо активного развития отмечается падение интереса геологов к результатам геоморфологических и космогеологических исследований и, как следствие, сокращение выпуска вузами специалистов соответствующего профиля. Достаточно отметить тот факт, что в 1970–1980 гг. публиковались многие сотни статей и десятки книг по проблемам космической геологии, линеamentной тектоники, кольцевых структур. В настоящее время, к сожалению, по этой тематике выходят лишь единичные работы, посвященные частным вопросам. Одна из возможных причин, по мнению автора, — существующие противоречия между материалами морфоструктурных, морфотектонических исследований, данными космической геологии и доминирующими в настоящее время моделями, работами на основе

идей тектоники плит, в которых “неудобная” информация не востребована. Для Дальнего Востока (ДВ) это касается, например, линейно-узловое строения орогенных поясов, представленных цепями сводов; феномена кольцевых структур (КС), морфоструктур или морфоструктур центрального типа (МЦТ), соотносимых с проекциями инъективных дислокаций разных глубин заложения и длительности существования (плюмы, дипиры литосферной мантии, коровые магматические системы); унаследованно развивающихся региональных сетей глубинных разломов и других особенностей строения региона (Гаврилов, 2009). С другой стороны, такая ситуация связана с несовершенством существующих представлений, инструкций и методических указаний об использовании геоморфологической информации в ходе геолого-съёмочных и тематических работ в комплексе с материалами дистанционного зондирования из космоса. Известно, что многие руководства и легенды к картам базируются на традиционных представлениях о двумерности объектов исследований геоморфологов и изучении рельефа территорий как совокупности поверхности геологических тел. Задача предлагаемой статьи – показать необходимость пересмотра роли и возможностей комплексного использования современной геоморфологической, морфотектонической и космогеологической информации при решении геологических задач.

### НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ МЕТОДОЛОГИИ И МЕТОДИК ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ И МОРФОТЕКТОНИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Согласно имеющимся дефинициям в учебниках и справочниках в качестве объектов геоморфологических исследований рассматриваются формы рельефа поверхности Земли или, в более точном определении, поверхности литосферы (ПЛ). На локальном и региональном уровнях в соответствии с методическими установками и руководствами, разработанными еще в 1970-е гг. (Бойцов и др., 1972) и уточненными в последующие годы (Спирidonov, 1985; Ласточкин, 1987; и др.), картографируются и изучаются плоскостные проекции, формы поверхности геологических тел, структур, представляющих собой продукты суммарного действия эндогенных и экзогенных факторов морфогенеза. Прямая задача геоморфологии – определение параметров, ранга, геометрии, строения, генезиса, динамики и особенностей развития форм рельефа на основе геологических данных. Обратная – использование данных о рельефе для изучения геологического субстрата, решения задач морфотектоники, геодинамики, историко-генетических исследований, минерагении и других разделов геологии. Очевидно, что разделять внешнюю

“форму” и “содержание” объекта исследований геоморфологов и геологов методически некорректно. Поэтому принципиально важно отметить, что объект изучения общий, это – геологические тело, структура с конформной внешней поверхностью (рельефом) или геоморфоструктура (термин Г.И. Худякова, 1977).

Для новообразованных и молодых эндогенных форм рельефа различия между объектами геоморфологического и морфотектонического картографирования минимальны, но для длительно экспонированных на ПЛ структур, претерпевших ряд тектонических и экзогенных преобразований, – более чем значимы. Типичные примеры подобных различий – гайоты, геоморфологические характеристики которых не позволяет напрямую соотносить их с вулканическими постройками. Горные хребты суши и дна морей и океанов, которые в соответствии с морфотектоническими данными образованы цепями очаговых структур, различных по размерам, времени формирования и развивающихся сопряженно с зонами магмоконтролирующих разломов. Различен рельеф орогенных сводов на конструктивном и деструктивном этапах развития и т.д. В зависимости от ряда факторов (параметры, возраст, изменчивость, полицикличность процессов тектогенеза, магматизма, инверсии тектонического режима, действие экзогенных факторов морфогенеза и др.), облик экспонированных на поверхности литосферы геологических структур и тел может сильно меняться во времени.

Сложные соотношения геоморфологических форм и геологического содержания обуславливают необходимость проведения комплексных исследований при неоднократном решении прямой и обратной задач геоморфологии: рельеф – геологическая среда, геологическая среда – рельеф и т. д., до установления между формами рельефа и геологической основой всей совокупности имеющихся детерминированных связей при паритетных отношениях между геоморфологией и морфотектоникой (Гаврилов, 2017, 2022а и др.). По мнению автора, такой подход существенно расширяет возможности науки о рельефе планетных тел.

Современные исследования показывают, что в рельефе Земли и планет земного типа прямо или опосредованно отражаются: 1 – параметры, морфология, строение, генотип, иерархия, возраст, глубины формирования геологических тел и дислокаций; 2 – механизмы образования структурной основы неровностей и ровных участков ПЛ; 3 – масштабы и структурно-вещественные особенности магматизма, метаморфизма, дегазации и дефлюидизации мантии, явления плюмовой тектоники, мантийного диапиризма, очаговой геодинамики в целом; 4 – эндогенные и экзогенные геодинами-

ческие процессы (тектонические движения, формы и механизмы тектогенеза, вулканизм, сейсмические явления, сели, оползни и др.); 5 – влияние гравитационного и космогенных факторов морфо-генеза (метеоритная бомбардировка, приливные гравитационные взаимодействия Земли с Луной, Солнцем и др.); 6 – физико-механические и химические свойства пород, обуславливающие морфолитодинамический эффект; 7 – климатические, ландшафтные условия и факторы морфогенеза; 8 – общие закономерности рельефообразования, связанные с планетарной и региональными тенденциями планиции рельефа и отражающие баланс эндогенного и экзогенного энергомассопереноса; 9 – явления геоморфологической конвергенции, гомологии, цикличности тектогенеза, литогенеза и морфогенеза (Гаврилов, 2017).

Если при изучении процессов горообразования принять за основу доминирующие в настоящее время идеи неомобилизма и соответствующие тектонические построения, модели (Ханчук 2000; Геодинамика..., 2006; и др.), отдавая приоритет геологическим данным, то содержание геоморфологических исследований в рамках плоскостных моделей будет сведено к выявлению морфометрических, морфографических характеристик рельефа, выделяемых террейнов на ДВ, оценке их денудационного среза, решению ряда других вспомогательных задач. О независимой роли геоморфологических методов в расшифровке особенностей геологического строения территории, в оценке геодинамики и механизмов структуро- и рельефообразования говорить не приходится. В то же время проведение комплексных исследований с использованием на равноправной основе геологической информации и данных ЦМР (3D формате), включая результаты дешифрирования космических снимков и геофизические материалы, позволяет получить более объективную и адекватную картину строения верхних частей литосферы. На основе решения обратной задачи геоморфологии определяется тектоническая основа горных сооружений, выявляются коровые и глубинные элементы структурного плана, конформные рельефу, устанавливаются их морфологические, генетические характеристики, иерархия и т.д. Синтез разнообразной информации позволяет уменьшить роль субъективного фактора, оценить общность и изменчивость процессов текто- и морфогенеза в пространстве и времени, создавая предпосылки для геоморфологической верификации существующих моделей горообразования.

К сожалению, представленные ранее теоретические аспекты трехмерного геоморфологического картографирования (Смирнов, 1982) не получили дальнейшего развития и практического применения. Намечаемый подход к синтезу геоморфо-

логической, аэрокосмической и геолого-геофизической информации на уровне блок-диаграмм и более сложных 3D моделей разломных, очаговых систем разного ранга, орогенных сооружений и других объектов показывает необходимость создания картографических материалов, отражающих глубинную природу явлений тектогенеза, динамические, историко-генетические и другие аспекты объемного рельефообразования. Это предполагает создание на основе ЦМР и геологических карт, соответствующих компьютерных 3D программ разных уровней детальности (Бугаков и др., 2017), совершенствование известного объема метода изучения тектонических движений, анализа объемов коррелятных, конформных отложений, комплексов и т.д. На начальном этапе продуктивно простое совмещение различных информационных слоев (Arcview GIS, Photoshop CS6 и др.). Например, вынос на гипсометрическую основу магматических образований и разломов, являющихся индикаторами эндогенной активности, с указанием размеров площадей, объемов эффузивных, интрузивных образований в очаговых морфоструктурах, или проведение оценки баланса масс горных пород при денудации и аккумуляции, транзите рыхлых отложений и др. В той или иной степени, это уже используется при создании моделей круговорота различных веществ в природе, при детальном изучении процессов вулканизма, седиментогенеза, тектонических реконструкциях, оценке денудационного среза и т.д.

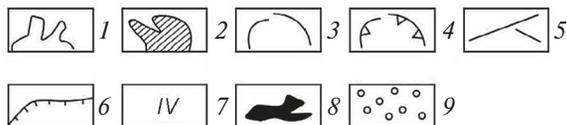
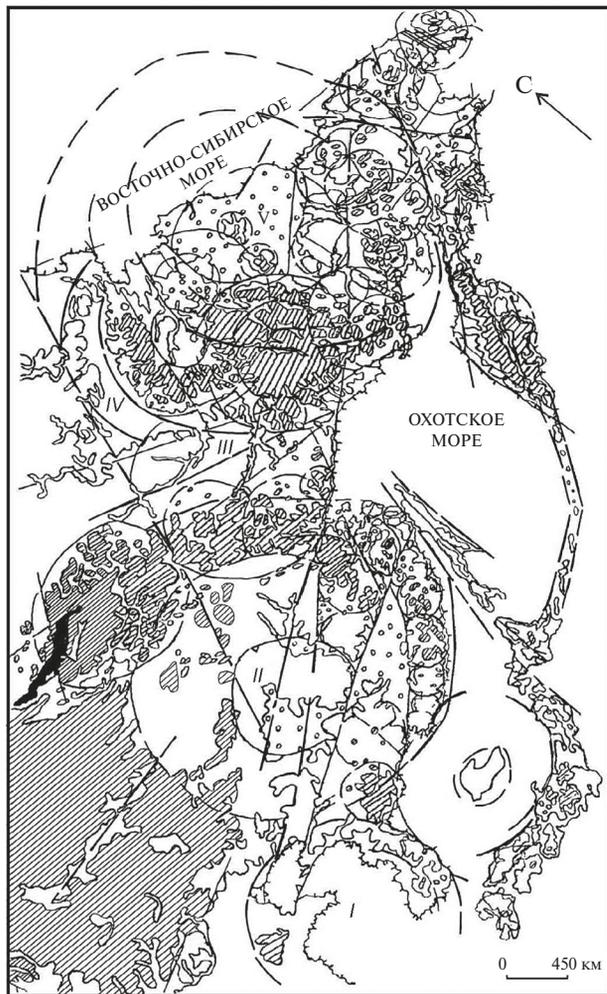
Возникновению стереотипа об относительно невысокой значимости геоморфологических методов и информации о рельефе в расшифровке особенностей геологического строения и развития территорий, помимо начальных методологических установок, способствовал ряд представлений и факторов. Среди них можно отметить: положения об относительной кратковременности, быстрой изменчивости форм поверхности геологических тел с выделением геоморфологических этапов развития Земли и регионов (Герасимов, 1970); превалирование взглядов о наложенной, неотектонической природе явлений тектоморфогенеза, слабо связанных с геологическим субстратом (Уфимцев, 1984; Ласточкин, 1987; и др.); исторически сложившееся отнесение геоморфологии к кругу географических дисциплин, отдающих предпочтение описаниям форм рельефа; подготовка соответствующих специалистов на географических факультетах вузов и др. Как следствие, большинство существующих в настоящее время тектонических моделей строения и развития различных территорий очень ограниченно привлекают данные о рельефе. Для ДВ России к таким моделям, например, относятся геосинклинально-складчатая (Салун, 1978), линеаментно-блоковая (Красный, 1993),

террейновая (Ханчук, 2000; Геодинамика ..., 2006; и др.) и некоторые другие. При всей насыщенности геологической информацией они оставляют без внимания и не могут объяснить многие принципиальные особенности и закономерности геоморфологического строения региона. Это касается, например, радиально-концентрической зональности региональных полей высот (рис. 1), размещения и внутреннего строения орогенных поясов, геолого-геоморфологических характеристик, пространственной организации горных хребтов, впадин, особенностей распределения высотных уровней и других важных черт рельефа территории.

Тектонические схемы территории юга ДВ, построенные на основе доминирующей в настоящее время концепции террейнов (Ханчук, 2000; Геодинамика..., 2006; и др.), иллюстрируют, в частности, почти полное отсутствие геоморфологической информации и детерминированных отношений между декларируемыми в этих построениях структурами и установленными в ходе многолетних геолого-геоморфологических (геоморфология + морфотектоника) исследований элементами морфоструктурного плана региона (Середин, 1987; Гаврилов, 1993, 2017; и др.). На опубликованных схемах, картах, в частности, выделяются Бурей-Цзямусы-Ханкайский супертеррейн, Сино-Корейский и Сибирский кратоны, Сергеевский и Южный Китаками-Абакума-Куросегава блоки. Показаны также пермо-триасовые аккреционные призмы, террейны юрского турбидитового бассейна и юрской аккреционной призмы, террейны раннемелового турбидитового бассейна, титон-готеривской аккреционной призмы, готерив-альбской островной дуги и аккреционной призмы, позднемеловой вулканической дуги, субдукционно-аккреционные комплексы Палеоохотской зоны субдукции и др. Считается, что все они возникли вследствие масштабных горизонтальных перемещений.

По существу, это пространственные системы известных в регионе структурно-формационных зон и областей, интерпретируемых как коллизионно-аккреционные коллажи террейнов, блоков и иных структурно-вещественных образований, роль которых в строении рельефа региона не определяется. Приведенный пример отражает общие черты таких тектонических моделей: узость предлагаемого подхода; оторванность от фактологической основы в виде крупных неровностей земной поверхности, коррелируемых с особенностями глубинного строения территорий и несущих информацию об орогенных, вулканоплутонических поясах; игнорирование данных о региональной сети длительно живущих магмоконтролирующих разрывных нарушений и системах магматических и горообразующих центров; не использование

материалов о рифтогенных межгорных впадинах, а также о других характерных особенностях регионального морфоструктурного плана. Тем самым



**Рис. 1.** Схема генерализованного рельефа и ряда мега-МЦТ восточной окраины Евразии. Составлена с учетом данных (Соловьев, 1978; Кулаков, 1986; Томсон и др., 1992).

1–2 – контуры площадей с высотами рельефа: 1 – от 200 до 1000 м, 2 – более 1000 м; 3–5 – каркасные системы разломов: 3 – кольцевые и дуговые, 4 – дуговые центральной опущенной части Восточно-Азиатского (Амурского) мегасвода, 5 – радиальные и сквозные трансрегиональные; 6 – береговая линия; 7 – римские цифры названия МЦТ: I – Корейская, II – Восточно-Азиатская (Амурская), III – Алданская, IV – Янская, V – Яно-Колымская; 8 – озеро Байкал; 9 – межгорные впадины с высотами рельефа менее 200 м.

не учитывается тот факт, что явления эндогенного морфогенеза сопряжены с конкретными механизмами формирования тектонических дислокаций, процессами горообразования, рифтогенеза, магматизма и другими структурно-вещественными преобразованиями литосферы территории, происходившими не только в кайнозой, мезозой, но и на более древних этапах геологического развития.

В противовес неомобилистским построениям, геоморфологическую верификацию получили модели регионального тектономорфогенеза, базирующиеся на концепциях тектономагматической активизации (Сухов, 2000), плюмовой тектоники и очаговой геодинамики (Соловьев, 1978; Середин, 1987; Томсон и др., 1992; Романовский, 1999; Гаврилов, 1993, 2017; и др.), которые отражают приоритет глубинных факторов структурообразования и магматизма. Привлекая данные о энергонесущих структурах литосферы различных глубин заложения, они позволяют объяснить существование центров дискретной, но длительной (сотни млн лет) эндогенной активности недр в виде огромных надплюмовых мегасводов, очаговых орогенных сводовых поднятий меньшего порядка, устойчивой сети трансрегиональных и региональных магмоконтолирующих разломов и других принципиальных особенностей геологии региона. Например, в основе линейно-узлового строения орогенных поясов ДВ лежат протяженные цепи магматических сводов, тектономагматических поднятий, формирующие с зонами глубинных разломов единые системы и включающие плутонические, вулканоплутонические купола, вулканоструктуры, палеовулканы и другие очаговые образования (Середин, 1987; Гаврилов, 1993, 2017; Романовский, 1999; и др.)

В качестве геологических признаков мантийных плюмов А.Ф. Грачев (2000) предлагает рассматривать: 1) сводовые поднятия радиусом до 1000 км, 2) структуры тройных сочленений разломов и рифтов, 3) базальтовый магматизм трещинного типа, 4) высокий тепловой поток, 5) увеличенные мощности земной коры, 6) специфические геохимические и изотопные характеристики магматических пород и др. Очевидно, что применение для выявления плюмов геоморфологических методов, данных дистанционного зондирования из космоса и всей совокупности признаков (включая геофизические), разработанных для выделения МЦТ, СЦТ регионального и планетарного ранга, существенно увеличивают информационную основу идентификации глубинных инъективных дислокаций.

Карта подошвы литосферы, построенная по геотемпературным данным, хорошо отражает, например, внешние контуры и основные особенности внутреннего строения Восточно-Азиатской мега-МЦТ (рис. 2; см. рис. 1), связанные с резко

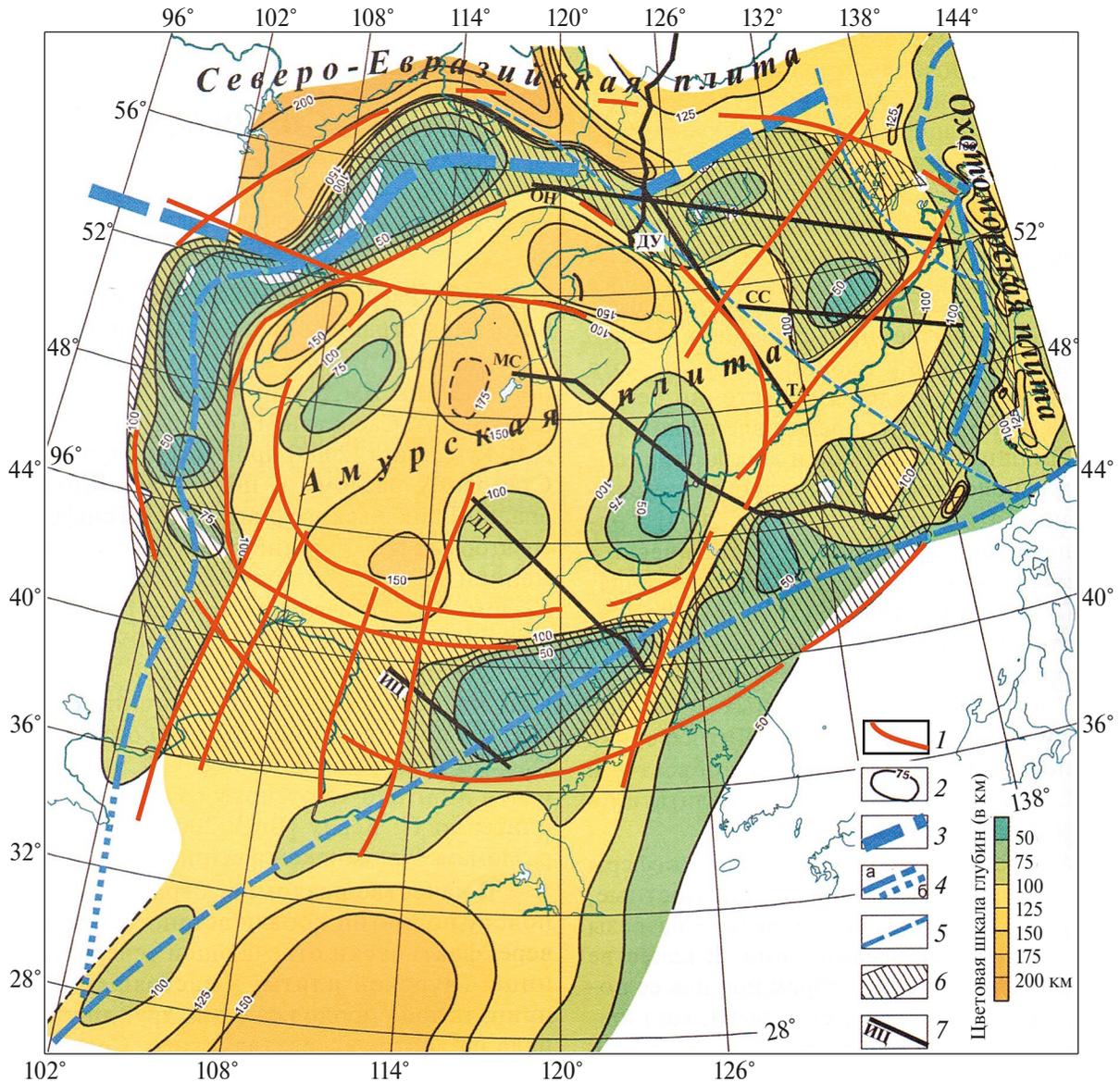
увеличенными мощностями литосферы в ее центральной части. При этом, несмотря на отчетливо проявленную радиально-концентрическую пространственную организацию аномальных валлообразных поднятий литосферной мантии и зональное распределение мощности литосферы в целом, авторы монографии (Глубинное строение..., 2010), ориентируясь, вероятно, на данные GPS мониторинга и террейновые построения, видят в этой модели не отражение глубинной очаговой системы, а Амурскую плиту.

Сравнительный анализ площадей различных по возрасту ареалов гранитоидов (в процентном отношении к общей площади рассматриваемого мегасвода) свидетельствует о том, что масштабы календонского и герцинского гранитообразования многократно превосходили параметры архейского и протерозойского кислого интрузивного магматизма. Известные в его пределах докембрийские массивы гранитоидов занимают ограниченные территории, однако свидетельствуют о чрезвычайно длительном, дискретном во времени и пространстве функционировании рассматриваемого глубинного центра эндогенной активности. Общая радиально-концентрическая зональность размещения палеозойских и мезозойских массивов гранитоидов мегасвода подчеркивается концентрацией более древних образований вокруг полосы впадин Сунляо, занимающих осевую часть мегасвода, в то время как мезозойский магматизм проявился преимущественно на периферии поднятия (рис. 3) (Гаврилов, 2017).

Данные петролого-геохимических исследований и сведения по абсолютному возрасту пород – индикаторов (кимберлиты, лампроиты, ультракалийевые базальты) плюмового вулканизма и изотопам Nd, Pb, Sr позволяют сопоставлять эту мега-МЦТ с проекцией мантийного плюма, активно развивающегося по меньшей мере с раннего палеозоя (Сахно, 2001).

Аналогичные закономерности радиально-концентрической пространственной организации гранитоидных массивов отмечаются и в пределах Яно-Колымского мегасвода.

Параметры поднятия, масштабы позднемезозойского магматизма и особенности внутреннего строения можно объяснить лишь деятельностью глубинной очаговой системы центрального типа, соотносимой с плюмом. Морфологическая и геологическая асимметрия южной и северных частей мегасвода – следствие широко проявленных в позднем кайнозое на Востоке Азии деструктивных процессов теткогенеза, обусловивших формирование рифтогенных межгорных, предгорных впадин и котловин окраинных морей. Опуска-



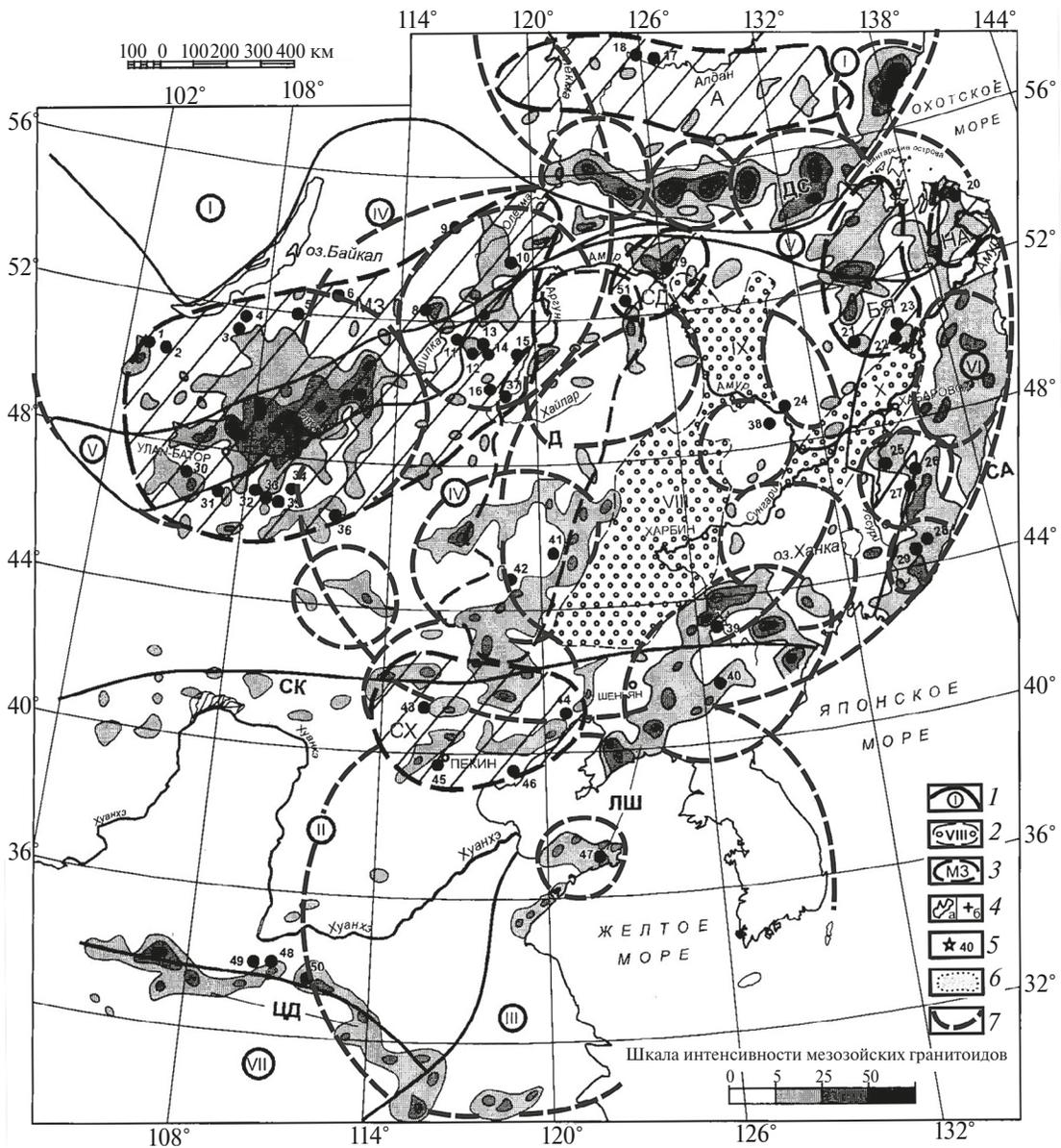
**Рис. 2.** Карта рельефа подошвы литосферы Восточно-Азиатского надплюмового мегасвода по геотемпературным данным (Глубинное строение..., 2010). Приводится с добавлениями и в интерпретации автора.

- 1 – каркасные дуговые и радиальные разломы мегасвода, установленные по геолого-геоморфологическим данным и материалам дистанционного зондирования из космоса; 2 – изопакиты (глубины в км); 3 – граница Северо-Евразийской плиты;
- 4 – внешние контуры мегасвода: а – обоснованные, б – предполагаемые;
- 5 – разрывные нарушения;
- 6 – границы Амурской плиты (мегасвода по версии автора);
- 7 – линии сейсмических профилей.

ния фундамента некоторых впадин Яно-Колымской системы привело их затоплению водами Восточно-Сибирского моря.

На гравиметрических картах с основными орогенными системами юга ДВ связаны отрицательные аномалии силы тяжести (в редукции Буге), а с впадинами и депрессиями – положительные. Отмечаемые различия глубинного строения поло-

жительных и отрицательных морфоструктур региона, данные о наличии областей разуплотнения в литосфере под орогенными сводами свидетельствуют о наличии мантийных “корней” горных сооружений региона (Гаврилов, 2017, 2022а; Романовский, 1999; и др.). В качестве ключевых объектов геолого-геоморфологических исследований горных территорий и областей денудации в целом

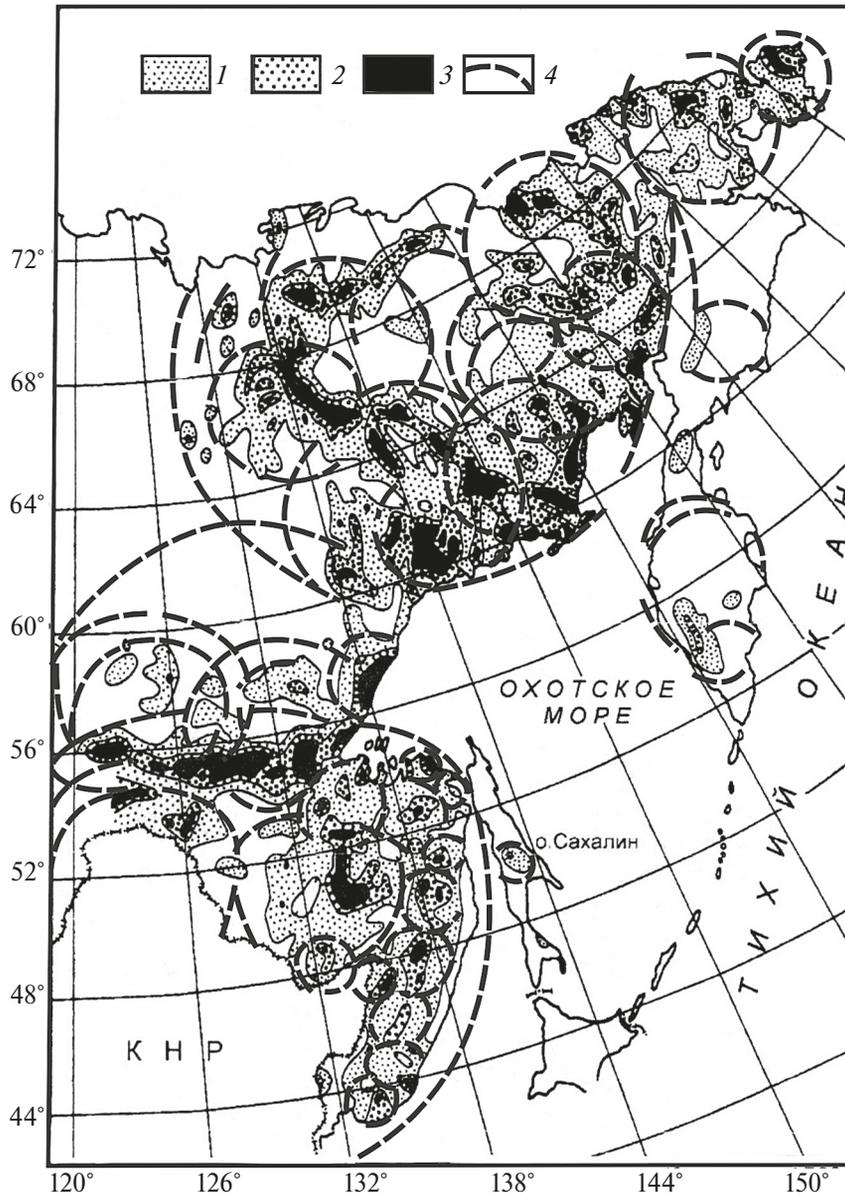


**Рис. 3.** Положение центров и аномалий экстенсивности мезозойского гранитоидного магматизма Восточно-Азиатского надплюмового мегасвода. Схема составлена на основе данных (Романовский и др., 2009), с дополнениями и в интерпретации автора.

1 – тектонические элементы (римские цифры в кружках) – платформы: I – Сибирская, II – Северо-Китайская, III – Янцзы; орогенные пояса: IV – Центрально-Азиатский, V – Монголо-Охотский, VI – Сихотэ-Алинский, VII – Циньлин-Дабэшаньский; 2 – осадочные бассейны: VIII – Сунляо, IX – Амуро-Зейский, X – Среднеамурский; 3 – ареалы и пояса гранитоидов: МЗ – Монголо-Забайкальский, А – Алданский, СД – Северо-Дахинганский, БЯ – Баджало-Ямалинский, НА – Нижнемурский, СХ – Северо-Хэбэйский, ЮП – Южно-Приморский, ДС – Джугджуро-Становой, Д – Дахинганский, СА – Сихотэ-Алинский, СК – Северо-Китайский, ЦД – Циньлин-Дабэшаньский, ЛШ – Ляодун-Шаньдунский; 4 – массивы гранитоидов: а – известково-щелочных, б – щелочных и субщелочных; 5 – крупные рудные месторождения и их порядковый номер; 6 – группы локальных интрузивов центрального типа; 7 – контуры очаговых систем различных глубин заложения.

рассматриваются водораздельные узлы-морфо-структуры (ВУМ), представляющие собой центры длительного и устойчивого роста положительных деформаций земной коры. Геоморфологическое и глубинное строение таких ВУМ, морфология,

генезис и параметры связанных с ними конформных дислокаций, а также состав и возраст пород несут главную информацию о механизмах, факторах формирования и развития поднятий, горных сооружений. Паспортизация ВУМ на основе этого



**Рис. 4.** Схема распространности гранитоидов мезозоя в пределах юга ДВ и Северо-Востока Азии (Романовский, 1999). Приведена с дополнениями и в интерпретации автора.

1–3 – распространность гранитоидов на уровне дневной поверхности: 0-10 % (1), 10-25 % (2), более 25 % (3); 4 – дуговые, кольцевые каркасные разломы.

комплекса данных и космогеологических материалов позволяет осуществлять верификацию тектонических гипотез, моделей горообразования, решать многие другие вопросы. Если на территории Юга ДВ до 70% ВУМ сложено магматическими образованиями и связано с инъективными дислокациями корового и глубинного заложения (Гаврилов, 2017), то о каких коллизионных, коллизионно-аккреционных механизмах регионального орогенеза, декларируемых в моделях террейнового анализа (Ханчук, 2000; Геодинамика ..., 2006; и др.), может идти речь?

В отличие от неомобилистских построений, в которых детерминированные связи тектогенеза, рельефообразования и рудогенеза в районах удаленных от границ плит, террейнов неопределимы, важное достоинство предлагаемого подхода – наличие конкретных объектов исследований, представленных рудоконтролирующими, рудокализующими очаговыми морфоструктурами и зонами разломов. Это обуславливает возможность изучения систем магматических центров и магмоподводящих каналов литосферы как общей энергетической основы явлений тектоморфогенеза

и формирования эндогенных геохимических аномалий разного ранга. В ходе морфоструктурного и морфотектонического картографирования, районирования рудоносных территорий анализируются особенности строения и развития различных типов рельефообразующих дислокаций, но главное внимание уделяется именно этим двум основным классам объектов, которые создают условия для миграции и проникновения к поверхности расплавов, газов, флюидов и растворов. Они же являются основными формами структурирования среды при процессах теплопереноса в недрах, определяя энергетические, структурные, гидрогеологические, гипсометрические и другие предпосылки для создания аномальных концентраций мантийных и коровых групп рудных элементов верхних частях литосферы. Комплексный подход к применению геолого-геоморфологических данных о строении и развитии рельефа для решения задач металлогении реализуется в рамках таких направлений исследований, как рудная геоморфология, морфоструктурный анализ, морфотектоника и неотектоника рудных районов и областей. Данные о взаимосвязи рельефообразующих потоков вещества, энергии недр и явлений рудогенеза в очаговых и разломных системах составляют основу анализа факторов формирования различных типов (сиалический, фемический, сиало-фемический) рудной минерализации (Гаврилов, 1993, 2022а).

#### МЕСТО СОВРЕМЕННЫХ ГЕОМОРФОЛОГИИ И МОРФОТЕКТОНИКИ В ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Как показывают опыт и результаты работ в различных регионах, современные геоморфологические и морфотектонические методы исследований, включающие использование материалов космических съемок, — необходимые составляющие геологического картографирования не только суши, но и дна морей и океанов. Уже на начальных этапах, в камеральных условиях можно получать первичные сведения о характере рельефа, структурном плане, тектонической, магматической активности, сети разрывных нарушений территорий суши и дна акваторий, а также другую геологическую информацию. Морфометрические и морфографические методы анализа рельефа и космической геологии давно и широко апробированы при изучении горных и платформенных областей суши (Волчанская, 1981; Кац и др., 1986; Середин, 1987; Томсон и др., 1992; Гаврилов, 1993, 2017, 2022а; и др.) и для решения задач морской геологии (Гаврилов, 2015, 2018 и др.).

С учетом специфики морских геологических работ, геоморфологические и геофизические данные

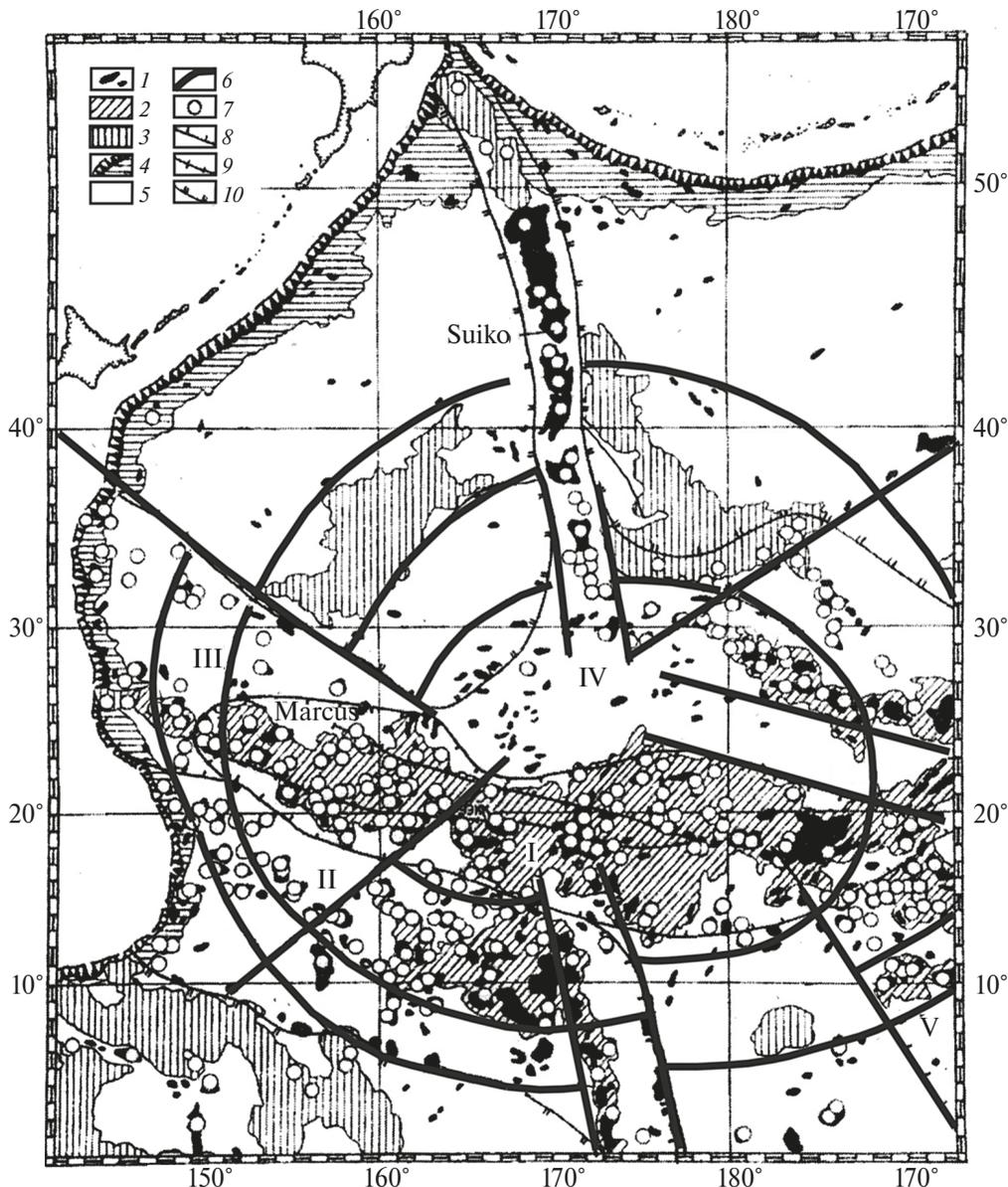
о строении и развитии подводного рельефа — основа индикации структурных элементов земной коры, проявлений вулканизма, характера и масштаба осадкообразования, определения структурной позиции рудной минерализации и т.д. Особенно эффективна роль геоморфологических методов при выделении, идентификации и изучении зон разломов, очаговых систем, выраженных МЦТ, которые создают необходимые энергетические и геохимические условия для реализации процессов подводного рудогенеза (Кулаков и др., 1990; Gavrilov, 2018, 2022а, б и др.). Новые перспективы для изучения геологии дна морей и океанов связаны с визуализацией цифровых 3D моделей рельефа, создаваемых на основе глобальной базы батиметрических данных GEBCO 2014 (<http://Ocean3dprojects...>), материалов альтиметрии и дистанционного зондирования Земли из космоса в рамках программы Google Earth Pro. В частности, хорошие результаты дает применение методик морфоструктурного анализа и космогеологического дешифрирования при работе с визуализированными 3D моделями рельефа подводных возвышенностей разного типа, ранга и выступов акустического фундамента, которые отличаются относительно небольшим чехлом рыхлых отложений.

В ходе ранее проведенных мелкомасштабных исследований на дне Тихого океана было выделено более 150 кольцевых геоморфологических аномалий, соотносимых с МЦТ разных размеров и глубин заложения. Последующая их выборочная проверка на основе геолого-геофизических материалов позволила оценить эти закономерно организованные комплексы кольцевых форм рельефа как очаговые образования разного генотипа и ранга: от отдельных вулканических построек (их упорядоченных группировок центрального и линейного типов) до мегасводов поднятий, сопряженных с мантийными плюмами (Гаврилов, 2015, 2018).

Одна из интересных особенностей строения дна Тихого океана заключается в том, что в пределах северной, более глубоководной части мегавпадины сосредоточены многие подводные возвышенности, связанные с остаточными позднемезозойскими тектоническими поднятиями, выступами фундамента океанического дна. Особое место среди них занимает реликтовый Западно-Тихоокеанский надплюмовый мегасвод (R — 1800–2000 км), в котором, помимо подводных возвышенностей и вулканических хребтов, присутствуют наложенные впадины с глубинами 6500 и более метров. По версии автора (Гаврилов, 2015), геометрический центр мегасвода расположен в узле сочленения Северо-Западного (Императорского), Гавайского подводных хребтов, трассирующих зоны магмоконтролирующих разломов и таких мощных зон трансрегиональ-

ных разрывных нарушений, как Мендосино и Сервейор, имеющих северо-восточное простирание. Помимо этих хребтов, в строении мегаподнятия участвуют: подводная возвышенность Шатского, Срединно-Тихоокеанские (возвышенности Маркус-Неккер, Маркус-Уэйк и др.) горы, горы Карто-

графов, поднятие Хесс, подводный хребет Лилиуокалани. Для мегасвода характерно закономерное сочетание секторальных блоковых поднятий, глубоководных впадин и подводных возвышенностей, гор, представленных группировками палеовулканов, гайотов, (рис. 5). Радиально-концентриче-



**Рис. 5.** Схема размещения подводных гор и рудоносных гайотов в северо-западной части Тихого океана (Школьник и др., 1996), отражающая существование надплюмового мегасвода. Составлена с дополнениями и в интерпретации автора (Gavrilov, 2015).

1 – подводные горы и хребты; 2 – валообразные поднятия в основании вулканических гор; 3 – подводные поднятия (Шатского, Гесса и другие); 4 – краевые валы и океанические склоны глубоководных желобов; 5 – океанические котловины; 6 – радиальные и дуговые каркасные линейменты надплюмового мегасвода северо-западной части Тихого океана; 7 – подводные горы и гайоты с батиметрическим положением вершин не более 2000 м; 8 – границы рудоносных провинций: I – Срединно-Тихоокеанской, II – Восточно-Марианской, III – Огасавара-Гейш, IV – Императорско-Гавайской, V – Лайн; 9 – контур распространения фосфатизированных базальтов внутри ареала карбонатных и брекчированных фосфоритов Срединно-Тихоокеанской провинции; 10 – области практического отсутствия рудоносных гайотов.

ское строение Западно-Тихоокеанской очаговой мега-МЦТ подчеркивает плановый рисунок аномалий магнитного поля, круговой контур крупной гравитационной аномалии в редукции Буге (рис. 6). В ядре свода сконцентрированы основные ареалы пород мелового возраста, экспонированных на дне Тихого океана (Гаврилов, 2022a; Gavrilov, 2015; и др.). Наличие в пределах южного сегмента мега-свода (подводные возвышенности Маркус-Уэйк, Маркус-Неккер и Магеллановы горы) вулканических комплексов, сформированных, с перерывами, в хронологическом диапазоне поздняя юра – поздний миоцен (Мельников, 2005; Геология..., 2020; и др.), вариации возраста вулканических построек Императорского и Гавайского подводных хребтов от 80 до 5 млн лет (Norton, 2000) и другие данные отражают длительный полициклический характер его развития. Параметры поднятия, аномально высокая концентрация палеовулканических построек разного возраста, масштабы, длительность проявления магматических процессов, увеличенные (до 18 км) мощности земной коры в пределах подводных гор указывают на его плюмовую природу.

К другим морфологическим типам очаговых МЦТ дна морей и Тихого океана, связанных с глубинными очаговыми системами, относятся глубоководные котловины и впадины центрального типа (Меланезийская, Западно-Каролинская, Самоа и др.). Один из примеров – Восточно-Марианская котловина, кольцевая форма которой подчеркивается цепью обрамляющих ее с востока подводных вулканических, вулканотектонических

поднятий и хребтов (рис. 7). В отличие от мегасводов, имеющих длительную и сложную историю геологического развития, связанную, как правило, с чередованием тектонических режимов и явлениями полициклического магматизма, глубоководные котловины возникают на этапах деструктивного тектогенеза в условиях повышенной проницаемости литосферы. На начальном этапе их развития иницирующую роль мог играть механизм синдвигового раздвига.

МЦТ подводных поднятий, горных областей представлены кольцевыми системами, группировками палеовулканов, образующих постройки радиусом первые сотни км. На представленной визуализированной ЦМР (рис. 8) хорошо выражены различные по размерам и внутреннему строению очаговые образования различных размеров и порядков, включая линейные группировки палеовулканических форм, трассирующих зоны магмоконтролирующих разрывных нарушений. Прямолинейные и дуговые цепи страто- и щитовых палеовулканов – основные элементы строения подводных хребтов, вулканотектонических поднятий и островных дуг. Серии примеров различных морфологических и генетических типов МЦТ дна Тихого океана можно найти в работах (Кулаков и др., 1990; Гаврилов, 2017, 2022a; Gavrilov, 2015, 2018; и др.).

Есть все основания констатировать, что широкое применение комплексных геоморфологических и космогеологических данных для индикации и идентификации структурных элементов литос-

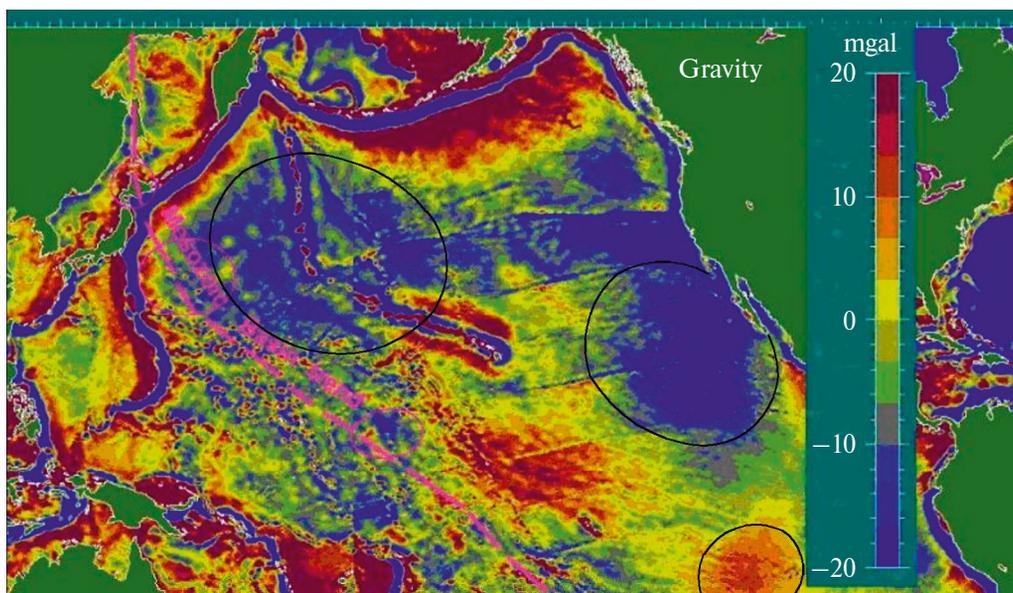
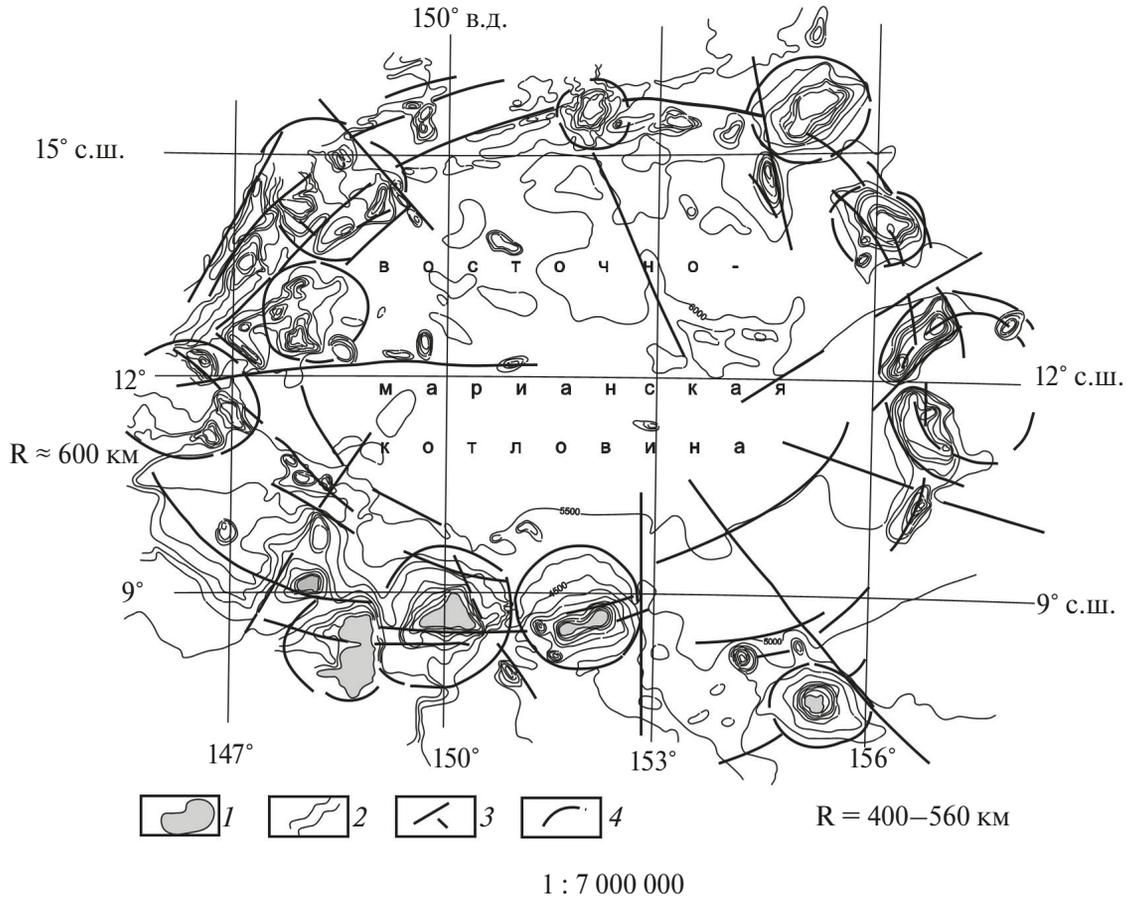


Рис. 6. Карта гравитационных аномалий Тихого океана (Pacific gravity map, 2006.; [https:// Ocean gravity map.gif](https://Oceangravitymap.gif).)

Черными линиями намечены предполагаемые проекции Северо-Западного, Калифорнийского и центральной части Восточно-Тихоокеанского надплюмовых мегасводов.



**Рис. 7.** Морфоструктурная схема Восточно-Марианской глубоководной котловины и обрамляющих ее подводных горных сооружений. 1 – островная суша; 2 – изобаты; 3–4 – разломы, установленные по геоморфологическим и космогеологическим данным: 3 – диаметральные; 4 – дуговые и кольцевые.

феры Земли во многом способствовало широкому распространению идей плюмовой тектоники, развитию учения о кольцевых структурах, формированию концепции очагового тектоморфогенеза. Именно благодаря таким исследованиям намечается, в частности, перспективное направление исследований, связанное с изучением МЦТ, очаговых структур и в целом явлений очаговой геодинамики в пределах дна морей и океанов.

Не менее велика значимость геоморфологических, морфотектонических и космогеологических методов при выделении и определении трансрегиональных, региональных и локальных систем линеаментов, отражающих сети разрывных нарушений исследуемых территорий (Волчанская, 1981; Кац и др., 1986; Кулаков, 1986; Гаврилов, 1993, 2017; и др.). На основе дешифрирования КС выявляются разломы, скрытые под чехлом рыхлых отложений платформенных равнин и межгорных впадин, дна акваторий и речных долин, устанавливаются пространственные, иерархические отношения различных групп блоковых дислокаций, региональных

сетей разломов, оценивается роль протяженных сквозных линеаментов как тектонических реперов, решаются многие другие задачи. Примерами трансрегиональных разломов-линеаментов могут служить глубинные дислокации, которые обеспечили заложение и развитие Катазиатского вулканоплутонического пояса, орогенных поясов Востока Азии, глубоководных желобов и других линейных структурных элементов зон перехода континент – Тихий океан. На востоке Тихоокеанской мегавпадины выделяется целая система субпараллельных мощных зон разломов планетарного ранга: Мендосино, Меррей, Молокаи и др.

В пределах территории ДВ хорошо известны Центрально-, Западно-Сихотэ-Алинские, Южно-Туруингрский и другие длительно живущие региональные разломы. Опыт проведенных работ в различных регионах и тектонических областях привел к возникновению таких направлений исследований, как линеаментная тектоника, металлогения сквозных рудоконцентрирующих структур, линеаментов (Волчанская, 1981; Кац и др., 1986; и др.).

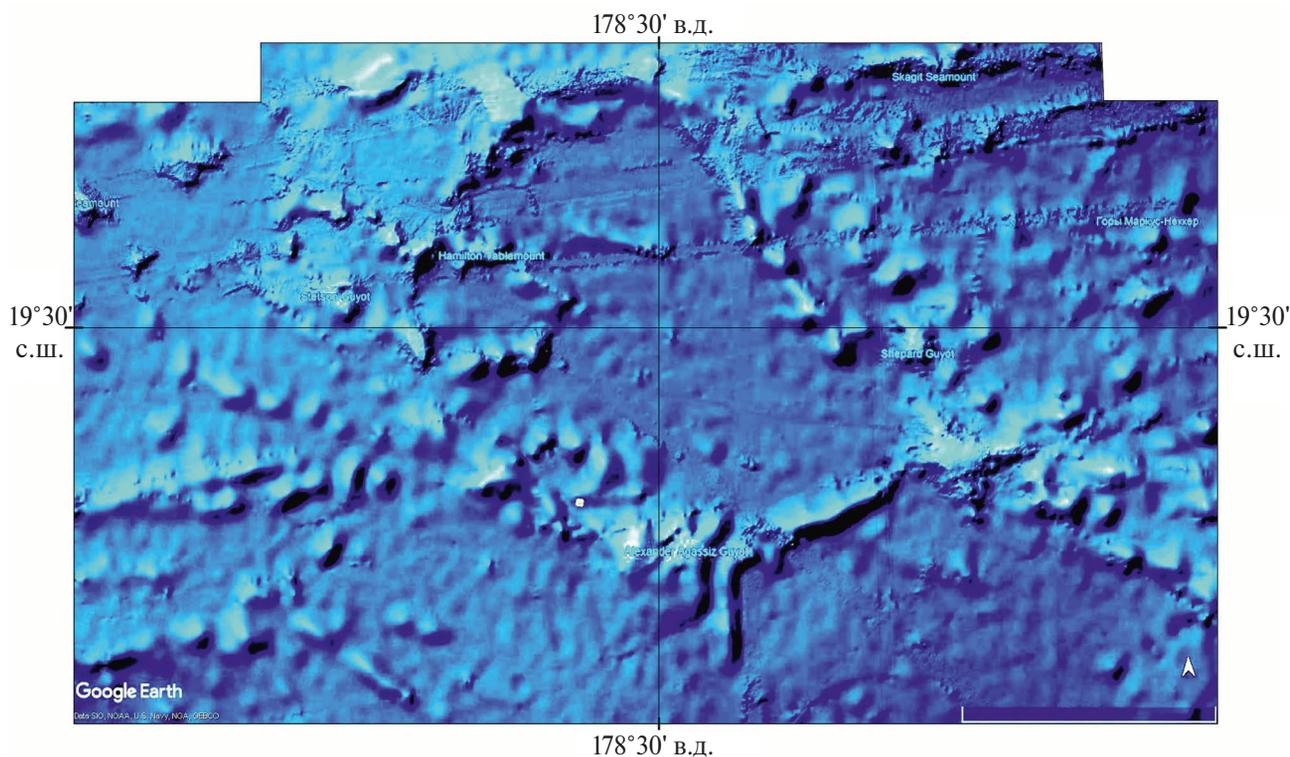


Рис. 8. Одна из МЦТ ( $R = 200 - 250$  км) областей поднятий дна Тихого океана (горы Маркус-Неккер). Данные визуализации ЦМР 3D моделирования (GEBCO 2014, Google Earth Pro).

Давно известно, что геоморфологические материалы широко используются при проведении валунных, шлиховых, литохимических поисков рудных объектов. Морфометрические, морфографические, морфоструктурные, морфотектонические, историко-генетические методы анализа рельефа находят применение при прогнозировании и поиске россыпных, элювиальных, осадочных и вулканогенно-осадочных и других генотипов месторождений. Появление материалов дистанционного зондирования из космоса способствовало совершенствованию известных и разработке новых методик морфоструктурных и морфотектонических исследований рудных районов, поясов и областей. Были выдвинуты концепции морфоструктурно-металлогенического анализа, ринговой металлогении, рудоконцентрирующих структур (Волчанская, 1981; Брюханов и др., 1987; Томсон и др., 1992; Гаврилов, 1993; и др.). Разработаны схемы соотношения морфоструктурных и металлогенических таксонов районирования, обоснованы положения о паспортизации рудно-магматических очаговых систем с применением комплекса геоморфологических, геологических, геофизических и космогеологических данных, установлено явление металлогенической асимметрии очаговых рудоносных структур и т.д. Успешно применяется комплекс геоморфологических и космогеологических методов для поиска

и выделения структур, потенциально перспективных на алмазы (Серокуров и др., 2009), залежи углеводородов (Данилова, 2022; Смирнова, 1997; и др.).

Сложно переоценить роль совместного применения методов и материалов геоморфологии, морфотектоники и дистанционного зондирования из космоса при сравнительном изучении рельефа и геологии планет солнечной системы земного типа. Получение новых данных о строении Луны, Марса, Венеры, Меркурия открывает возможности выявления общих и частных закономерностей строения поверхностей, внешних оболочек планет и их спутников, явлений текто- и морфогенеза, вулканизма; позволяет проводить реконструкции древних этапов развития Земли, сопоставлять особенности формирования и развития кольцевых эндогенных структур и астроблем, зон разрывных нарушений и других типов дислокаций, а также решать многие задачи (Кац и др., 1986; Лукашов, 1996; и др.). Все это звенья единого процесса развития планетарных геолого-геоморфологических и космогеологических исследований.

Очевидно, что изучение рельефа – важнейшая составляющая изучения ландшафтных систем и палеогеографических обстановок. Они имеют большое значение при создании палеотектонических построений, при реконструкциях положений

областей денудации и аккумуляции, масштабов, физико-географических условий осадконакопления, горообразования, определения цикличности геологических процессов, при прогнозе и поиске осадочных, вулканогенно-осадочных и других месторождений. Геоморфологическая информация востребована при исследовании явлений эндогенной и экзогенной геодинамики, при решении многочисленных вопросов четвертичной, динамической, инженерной геологии, сейсмологии, при изучении береговых процессов, оценке денудационного среза рудных тел, зон и т.д.

К числу необходимых мероприятий в ходе геолого-съёмочных и поисковых работ относятся: морфометрический и морфографический анализ рельефа; изучение аэрофотоснимков и материалов космических съёмок; оценка геодинамики рельефообразующих процессов, включая признаки неотектонических, сейсмических, вулканических, экзогенных экстремальных явлений; индикация структурных элементов литосферы; определение историко-генетических особенностей эндогенного и экзогенного морфогенеза на разных этапах геологической эволюции и др. Спектр возможных картографических материалов, которые подготавливают на основе геоморфологического и морфотектонического изучения рельефа, включает, помимо общих (морфогенетических) геоморфологических карт, следующие разновидности: морфоструктурные, морфотектонические, неотектонические, инженерно-геоморфологические, палеогеоморфологические, палеогеографические, динамики рельефообразующих процессов, прогнозные, прогнозно-поисковые схемы для экзогенных и эндогенных месторождений полезных ископаемых, залежей углеводородного сырья и др. В качестве частных построений рассматриваются различные морфометрические, морфографические карты, карты линеаментов, МЦТ, остаточного рельефа, береговых процессов, а также продольные, поперечные профили, разрезы и иные построения.

Все это требует от научных сотрудников и работников геологической службы должной квалификации и специализации, которые могут быть получены лишь в ходе соответствующей профессиональной подготовки. В то же время в штате геологических партий, экспедиций и научно-производственных организаций практически исчезли должности геоморфологов. Вследствие этого сократился выпуск вузами страны соответствующих специалистов, резко упали тиражи научной литературы по данной тематике. Достаточно отметить, что тираж единственного в РФ специализированного журнала «Геоморфология» упал в 2022 г. до 22 экз., а новой версии — «Геоморфология и палеогеография» в 2023 г. до 13 экз. На территории ДВ не только давно прекращён выпуск

геоморфологов, но и крайне малочисленны научные подразделения, специалисты, занимающиеся геолого-геоморфологическими, космогеологическими исследованиями. В ряде учебных и научно-производственных организаций Санкт-Петербурга и Москвы, на уровне кафедр и отделов стали тематически объединять геоморфологию и четвертичную геологию, геоморфологию и палеогеографию, что совершенно не соответствует современному уровню развития науки о рельефе нашей планеты. Очевидно, что многие формы рельефа (как объёмные образования) имеют глубинную природу, развиваясь унаследованно десятки и сотни миллионов лет. Морфологический ландшафт многих территорий представляет сложное сочетание гетерогенных и гетерохронных элементов морфоструктурного плана разного порядка. Считать, что все они были сформированы в течение четвертичного периода за 2 млн лет, просто некорректно. Виноваты в сложившейся ситуации и сами геоморфологи, которые вследствие реформирования геологических организаций страны и резкого сокращения финансирования, объёмов геолого-съёмочных и поисковых работ стали заниматься, в основном, исследованиями по географической тематике. Например, в качестве предметной области Ассоциации геоморфологов России указана лишь география. Невольно возникает образ птицы с одним крылом. Как можно изучать рельеф в отрыве от геологического структурно-вещественного субстрата и эндогенных процессов морфогенеза? Очевидно, что подобная, искусственно навязанная однобокость ограничивает возможности отечественной геоморфологии и не способствует широкому применению результатов изучения рельефа в практику геологических исследований и работ.

## НЕКОТОРЫЕ РЕГИОНАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

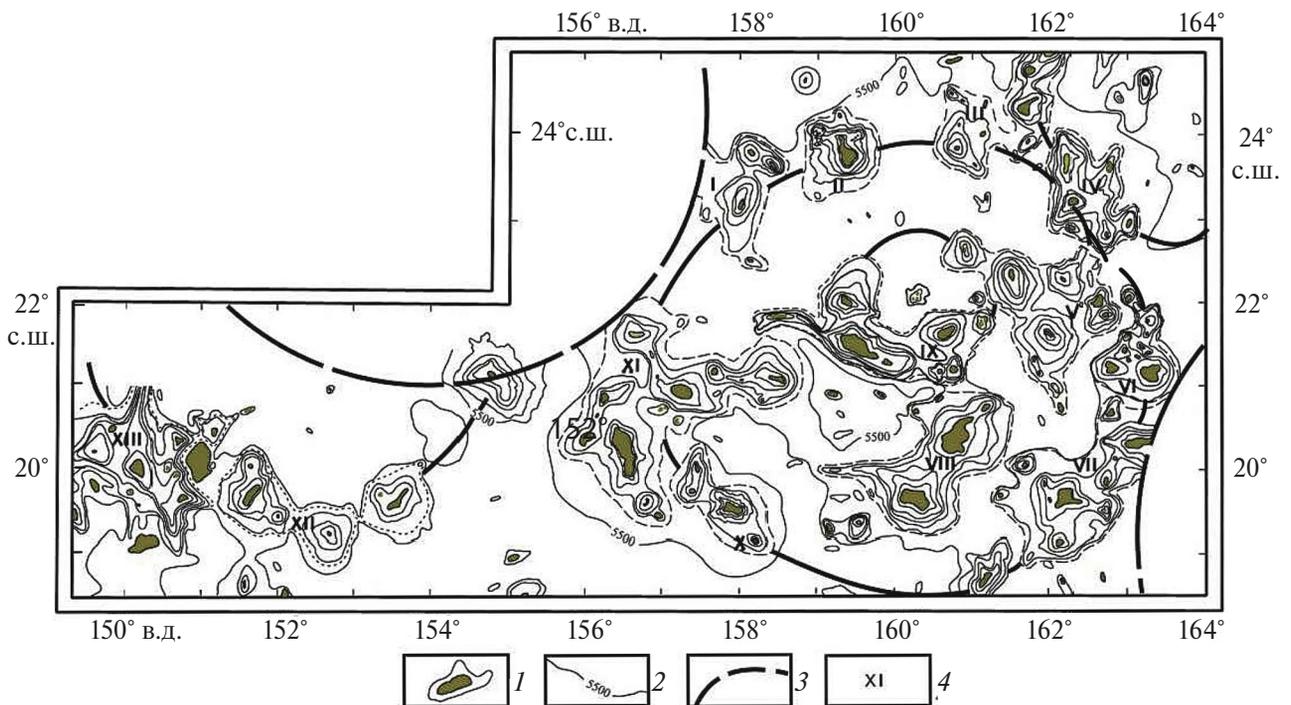
Необходимость изменения отношения к синтезу геоморфологической, морфотектонической и космогеологической информации легко проиллюстрировать на ряде примеров региональных и локальных исследований. Подводная возвышенность Маркус-Уэйк, расположенная в южном сегменте Западно-Тихоокеанского мегасвода, была детально изучена сотрудниками ФГУПП ГНЦ «Южморгеология» в ходе работ по оценке залежей минерального сырья в виде кобальтоносных марганцевых корок и конкреций (Мельников, 2005). Несмотря на то, что рудная минерализация концентрировалась вокруг гайотов, в качестве главных рудоконтролирующих структур рассматривались зоны разрывных нарушений и блоковые дислокации. В результате комплексного анализа батиметрических данных и визуализированной ЦМР в пределах этой возвы-

шенности (интервал широт 18–24°) автором была выделена кольцевая очаговая морфоструктура ( $R = 300$  км) (рис. 9). Основой для ее выделения послужило упорядоченное (с элементами трансляционной симметрии) размещение гайотов и связанных с ними вулканических центров во внешнем и внутреннем концентриках, что соответствует одному из универсальных типов инфраструктур очаговых систем (Гаврилов, 1993). Параметры, строение и данные о дискретном, но унаследованном проявлении в этом районе базитового магматизма на протяжении 150 млн лет (поздняя юра – поздний миоцен) позволяют связывать ее развитие с пульсационной, но унаследованной деятельностью мантийного диапира. Радиально-концентрический характер размещения и локализации участков скопления рудной минерализации в пределах поднятия однозначно свидетельствуют об определяющей рудоконтролирующей роли выделенной МЦТ.

Применение визуализированных ЦМР дало новую информацию о деталях строения некоторых подводных вулканических поднятий дна Японского моря. Впервые были получены данные о качественных и количественных характеристиках структурных элементов подводных возвышенностей Богорова, Тояма и прилегающих участках дна Центральной котловины.

Установлено, что исследуемые возвышенности представляют собой комплексы палеовулканических построек центрального типа, образующих с разрывными нарушениями и узлами их пересечений единые тектономагматические системы. Определены параметры, морфологические характеристики, особенности внутреннего строения (типы инфраструктур) палеовулканических структур, выявлены пространственные и иерархические (два ранга) системы разрывных нарушений и очаговых образований. Крупные концентрические группировки палеовулканов идентифицированы с проекциями мантийных диапиров. Эти материалы позволяют с новых позиций оценить адекватность существующих моделей формирования и развития окраинно-континентальной впадины Японского моря (Гаврилов, 2022б).

Необходимость нового подхода к изучению рельефа и применению космогеологической информации можно продемонстрировать и на примере такого относительно хорошо изученного региона, как Нижнее Приамурье. Информация, представленная на геоморфологической карте листов N (53) 54 (Геологическая карта..., 1981) в соответствии с установленной легендой (Бойцов и др., 1972), может быть интересна лишь для специалистов по ландшафтному исследованию и четвертичной геологии,



**Рис. 9.** Схема МЦТ ( $R = 300$  км) в пределах подводной возвышенности Маркус-Уэйк. Построена на основе батиметрических данных (Мельников, 2005) и анализа визуализированной ЦМР (Google Earth Pro)

1 – гайоты; 2 – изобаты; 3 – каркасные дуговые и кольцевые разломы; 4 – римские цифры – названия палеовулканов и гайотов (здесь не приводятся).

так как рельеф рассматривается как поверхность, соотносимая с внешними ограничениями геологических тел. Вот один из фрагментов легенды: 1 – тектоногенный рельеф (склоны возвышенностей, обусловленные новейшими, плиоцен-раннечетвертичными пликативными дислокациями); 2 – вулканогенный рельеф (лавовые покровы миоценового возраста); 3–9 – выработанный рельеф: 3 – склоны неоген-четвертичного возраста, образовавшиеся при препарировке пластовых тел; ... 8 – поверхности выравнивания; 9 – экзарационные и денудационно-экзарационные склоны троговых долин и водораздельных гребней позднечетвертичного возраста; 10–17 аккумулятивный рельеф: 10 – аллювиальные равнины и террасы раннечетвертичного-современного возраста .... и т.д.

Столь же характерны оценки возраста рельефа. Поскольку объектами выступают поверхности геологических тел, их возраст редко выходит за рамки четвертичного периода. В этом кроется очередной парадокс. Строго говоря, с учетом высокой интенсивности экзогенных процессов возраст геоморфологических поверхностей всегда современный, в крайнем случае, голоценовый, реже плейстоценовый. Поэтому во многих случаях без особых доказательств им просто приписывают время образования аккумулятивных геологических тел (террас, вулканических покровов и др.). Мало информативны и схемы геоморфологического районирования, построенные в соответствии с методическими указаниями ВСЕГЕИ (Бойцов и др., 1972). На них показаны районы развития эрозионно-денудационного (высокогорье, среднегорье и т.д.), денудационно-вулканогенного, денудационно-аккумулятивного, аккумулятивного рельефа. Во всех случаях на них содержится минимум данных о структурной и структурно-вещественной основе элементов морфологического ландшафта. При таком подходе отсутствуют предпосылки для индикации гетерохронных элементов структурного и морфоструктурного плана, не определимы механизмы и факторы тектоморфогенеза, не возможен анализ явлений унаследованности, наложенности тектонических форм рельефа, установление их возраста и др. Все это препятствует полноценному использованию данных о рельефе территорий и материалов дистанционного зондирования из космоса для решения задач тектоники, историко-генетических реконструкций, оценки металлогенического потенциала территорий, анализа морфоструктурной позиции, закономерностей локализации эндогенной рудной минерализации. В лучшем случае такие карты можно использовать для поиска россыпей, месторождений сырья для производства строительных материалов в виде глин, песка, щебня и др. Даже рекомендуемое для геологических производственных организаций дешифрирование

КС не даст необходимых результатов, если нет сопутствующих морфоструктурных и морфотектонических построений.

В то же время, комплекс исследований, проведенных в Нижнем Приамурье на основе синтеза геоморфологической, морфотектонической и космогеологической информации, позволил оценить и систематизировать данные о кольцевых и линейных аномалиях рельефа, фототона, соотносимых соответственно с очаговыми структурами и с зонами разрывных нарушений территории (Гаврилов, 1993, 2017). С учетом явления конвергенции определялись дешифровочные, геоморфологические и ландшафтные признаки для индикации очаговых и блоковых структур, накапливались данные о их паспортизации в рамках решения прямой и обратной задач геоморфологии. Для выявления элементов геологического строения использовались рисунки долин водотоков, водоразделов, гипсометрических уступов, перегибов склонов, а также сведения об уклонах, гипсометрических градиентах рельефа, пространственных комбинациях морфометрических аномалий, анализировалось геологическое строение ВУМ, их геофизические характеристики и др. Информационные слои с геоморфологическими и космогеологическими аномалиями совмещались со слоями наземных геологических и геофизических материалов, полученных в результате геолого-съемочных работ.

Представленная морфоструктурная схема Нижнего Приамурья (рис. 10) содержит информацию о главных генотипах рельефообразующих структур (блоки, очаговые формы, разломы), о гипсометрических, морфометрических, морфографических характеристиках, составе, происхождении конформных структурно-вещественных комплексах определенного возраста, пространственной организации очаговых структур и др. С учетом имеющихся геологических и геофизических данных о ВУМ это позволило определить возможные механизмы горообразования, установить пространственно-иерархические соотношения элементов морфоструктурного плана и позиции известных рудопроявлений, месторождений относительно очаговых систем и зон разломов.

В результате средне- и крупномасштабных исследований установлено, что, в отличие от Пильдо-Лимурийского орогенного свода, специфика металлогении Усть-Амурского тектономагматического поднятия, занимающего северный сегмент Сихотэ-Алинского вулканоплутонического пояса, определяется проявлением здесь в среднем и позднем кайнозое рифтогенно-деструктивных процессов. Именно они привели к формированию грабенов (Акшинский, Николаевский и др.), межгорных впадин и возникновению центров ба-

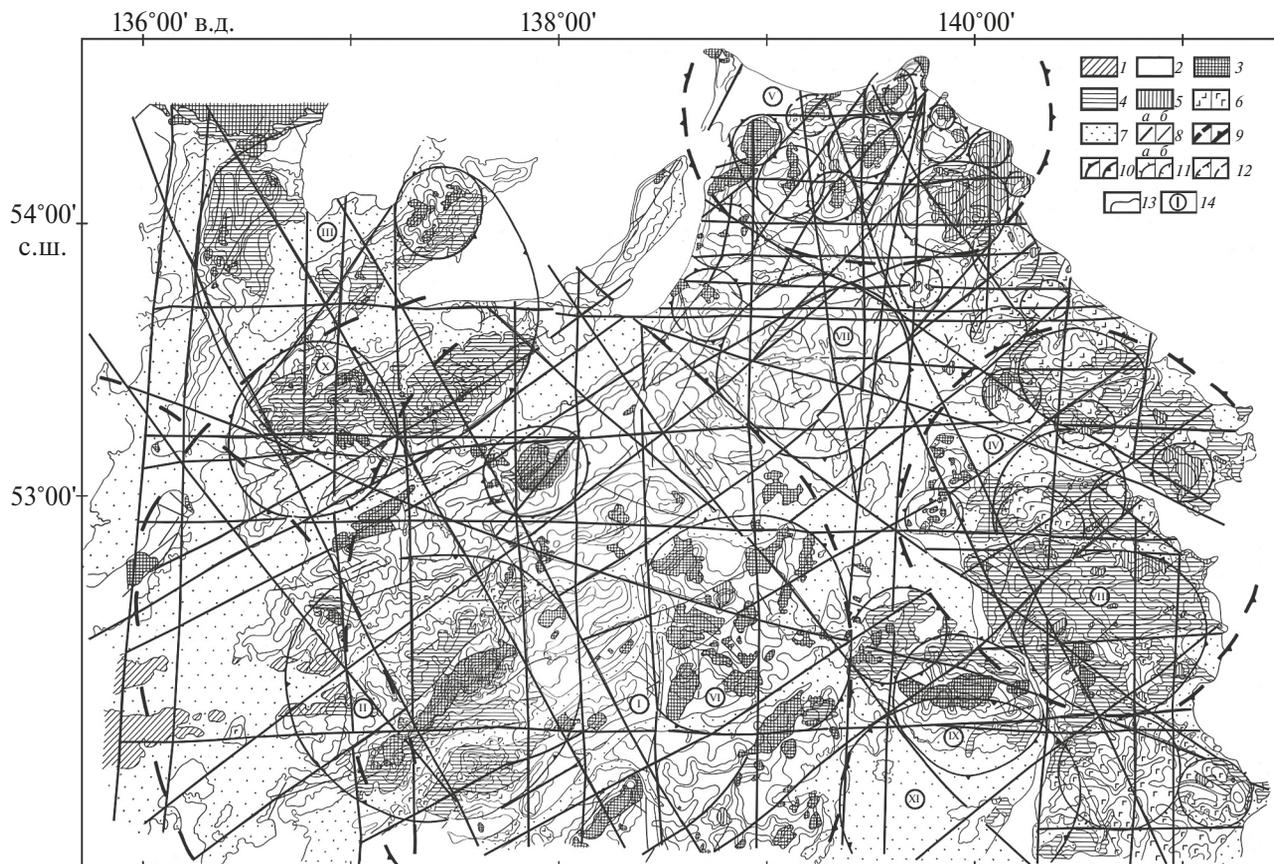


Рис. 10. Морфоструктурная схема территории Нижнего Приамурья (Гаврилов, 1993).

1–2 – осадочные и вулканогенно-осадочные комплексы разного возраста: 1 – палеозойского, 2 – мезозойского; 3–4 – магматические образования позднего мела: 3 – гранитоиды, 4 – эффузивы среднего и кислого состава; 5 – гранитоиды раннего палеогена; 6 – базальтоиды разного возраста (а – эоцена, б – миоцена); 7 – позднекайнозойские рыхлые отложения впадин; 8 – разломы, установленные по данным: а – дешифрирования КС и, б – геологическим; 9–11 – внешние контуры МЦТ разного типа и ранга: 9 – региональных поднятий (а – сводовых, б – тектономагматических), 10 – субрегиональных (а – интрузивно-купольных, б – вулканотектонических депрессий), 11 – локальных вулканических форм (а – положительных, б – отрицательных); 12 – предполагаемые дуговые граничные разломы локальных форм (а – отрицательных, б – прочих); 13 – геологические границы; 14 – римские цифры в кружках – названия основных МЦТ: I – Пильдо-Лимурийская, II – Эвурская, III – Ульбанская, IV – Усть-Амурская, V – Мевачанская, VI – Чаятынская, VII – Джапинская, VIII – Мынская, IX – Пуэрская, X – Омальская, XI – Удыльско-Кизинская.

зальтоидного и контрастного вулканизма эоцено-миоценового возраста при развитии кальдер с дацит-риолитовыми комплексами. Интенсивность деструктивных процессов отразилась на мощности литосферы в пределах впадин, окружающих Усть-Амурское тектономагматическое поднятие, которое соотносится с одноименным рудным районом (Гаврилов, 1993).

Показательно, что малоглубинные золотосеребряные месторождения олигоценного возраста (Бухтянка и Белая Гора) связаны с центрами контрастного вулканизма. Согласно полученным автором данным, Белогорское месторождение приурочено к Коль-Тывленской вулканоструктуре центрального типа ( $R = 9$  км), которая распо-

ложена на северной границе Больше-Искинской вулканотектонической депрессии ( $R = 20\text{--}25$  км), в узле пересечения крупных зон широтных и меридиональных разломов. Основная рудная минерализация сосредоточена в штокверке Белогорского некка, расположенного в кальдере палеовулканической постройки и сложенного окварцованными, пропилизитизированными дацитами и риодацитами.

Отдельные зоны, линзы рудоносных брекчий и более сложные по морфологии тела окварцованных и аргиллизированных пород с рассеянно-вкрапленной и прожилково-вкрапленной минерализацией связаны с эруптивными каналами и флюидно-эксплозивными структурами, группирующимися в кальдере палеовулкана. Коль-

Тывленская постройка эволюционировала несколько десятков миллионов лет от эоценового базальтового щитового вулкана, в кальдере которого проявился кислый вулканизм, до системы небольших моногенных аппаратов (по бортам кальдеры), сложенных базальтоидами миоценового возраста. По аналогии с морфоструктурной позицией месторождения Белая Гора, Бухтыанское рудное поле локализовано в кальдере Амуро-Акчинской вулканической постройки, характеризующейся аналогичными особенностями развития. За пределами Усть-Амурского поднятия расположены рудные объекты позднемиоценового и палеоценового возраста, которые сопряжены с вулканотектоническими структурами, вулканоплутоническими и плутоническими куполами, возникшими на конструктивном (орогенном) этапе развития территории (Гаврилов, 1993).

Концентрация рудных объектов в пределах очаговых морфоструктур характерна для многих других районов ДВ. Одним из примеров могут служить выделяемые по геолого-геоморфологическим и геофизическим признакам орогенные сводово-блоковые поднятия центральной части Сихотэ-Алинского рудного пояса, которые в зависимости от параметров сопоставляются с металлогеническими районами или областями. Именно магматические и тектономагматические МЦТ содержат в центральных частях основную массу рудопроявлений и месторождений касситерит-силикатно-сульфидной формации (Середин, 1987). Характерные для ядер сводов крупные массивы гранитоидов, выступы биотитизированных пород складчатого фундамента, приуроченность к ним региональных отрицательных гравитационных аномалий (в редукции Буге), петрохимические особенности магматизма (Сахно, 2001) и другие признаки позволяют определять эти морфоструктуры как длительно развивающиеся горообразующие центры, имеющие мантийную природу. Важнейшая роль МЦТ, соотносимых с очаговыми системами разных глубин заложения, в контроле и в размещении оруденения установлена в Казахстане, в Северной Америке, Австралии и целом ряде других районов мира (Волчанская, 1981; Брюханов и др., 1987; Середин, 1987; Томсон и др., 1992; и др.).

Парадоксально, но в региональных геологических исследованиях и в практической геологии все это находит лишь ограниченное применение. Имеет место явная недооценка информативности рельефа и эффективности комплекса геоморфологических, морфотектонических и космогеологических методов при решении многих геологических задач. Например, согласно существующим инструкциям ВСЕГЕИ в комплекте госгеолкарты-200 должна быть представлена лишь геоморфологическая схема М 1:500 000. Она составляется на основе морфогенетической легенды, которая была разработана еще

в 1970 гг. (Бойцов и др., 1972) в рамках плоскостной концепции геоморфологических исследований. Как уже отмечалось, такие картографические модели несут минимум информации о геологических телах, структурах территорий, не позволяя выявлять скрытые элементы геологического строения, оценивать морфоструктурную позицию рудных объектов и их денудационный срез, решать многие другие задачи на стыке геологии и геоморфологии. В рамках такого подхода столь же формально могут оцениваться и результаты дешифрирования КС, которые могут не заверяться геологическими работами.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Недооценка комплексного применения геоморфологической, морфотектонической и космогеологической информации при геологических исследованиях и проведении геолого-съёмочных, прогнозно-поисковых работ существенно удорожает их и снижает эффективность.

2. С одной стороны, такое положение, вероятно, обусловлено накоплением противоречий между данными морфоструктурных, морфотектонических исследований, космической геологии и доминирующими в настоящее время неомобистскими моделями тектогенеза, отражая идеологические коллизии между плюмовой тектоникой и тектоникой плит. С другой, связано с несовершенством существующих инструкций и методических указаний об использовании геоморфологической информации в ходе геолого-съёмочных и тематических работ, которые были созданы еще 1970 гг. Руководства и легенды к картам базируются на представлениях о двухмерности объектов исследований геоморфологов, что, по мнению автора, не позволяет в полной мере использовать информационный потенциал рельефа.

3. Необходим и принципиально важен переход к изучению форм рельефа и конформных геологических структур, тел в их единстве, как трехмерных, объемных образований. Это дает возможность на новом уровне оценить связи морфоструктурного плана с глубинным строением территорий, установить особое рельефообразующее значение очаговых систем и зон разломов, играющих роль главных энергонесущих элементов литосферы, выявить взаимосвязи тектонических, магматических и метаморфических рельефообразующих явлений на различных уровнях организации геологических сред. В основе такого подхода лежит синтез геоморфологии и морфотектоники, паритет терминов “морфоструктура” и “геоморфоструктура”.

4. Целесообразность и эффективность такого комплексного подхода к решению различных гео-

логических задач определяются: а) высокой информативностью рельефа при индикации структурных элементов и геодинамических режимов литосферы; б) возможностью верификации тектонических моделей, в частности, горообразования; в) созданием предпосылок для обобщения разнородных данных о рельефе, геологической, геофизической информации и материалов дистанционного зондирования из космоса; г) результативностью применения обобщенных данных при историко-генетических реконструкциях, оценке палеогеографических особенностей геологического развития территорий; д) экономией времени и средств при определении структурных, гипсометрических, энергетических, палеогидрологических, палеоландшафтных и других факторов формирования и условий сохранности месторождений различных рудных формаций.

5. Современную геоморфологию в комплексе с морфотектоникой, методами дистанционного зондирования из космоса и компьютеризации необходимо рассматривать как одну из базовых дисциплин для геологического картографирования суши, дна морей, океанов, сравнительно планетологических исследований, проведения работ, нацеленных на прогноз, поиск месторождений различных полезных ископаемых, а также решение других задач.

6. Дальнейший прогресс наук о рельефе планеты (геоморфология + морфотектоника) связан с необходимостью подготовки геоморфологов как на географических, так и на геологических факультетах вузов с учебными курсами эндогенной, структурной, поисковой, инженерной, морской геоморфологии, палеогеографии, морфоструктурного анализа, морфотектоники, неотектоники, динамической, космической геологии, сравнительной планетологии и другими дисциплинами, позволяющими максимально широко применять информацию о рельефе на современном уровне для решения различных геологических проблем.

#### ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена в рамках госбюджетной темы, регистрационный номер: 124022100082-4.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Бойцов М.Н., Ганешин Г.С., Плотникова М.И., Селиверстов Ю.П., Соловьев В.В., Чемяков Ю.Ф. Методическое руководство по геоморфологическим исследованиям / Под ред. Ю.Ф. Чемякова. Л.: Недра, 1972. 384 с.

Брюханов В.Н., Буш В.А., Глуховский М.З., Зверев А.Т., Кац Я.Г., Макарова Н.В., Сулиди-Кондратьев Е.Д. Кольцевые структуры континентов Земли. М.: Недра, 1987. 184 с.

Бугаков П.Ю., Касьянова Е.Л., Черкас М.В. Создание геоморфологической 3D карты // Вестник СГУГиТ. Т. 22. № 4. С. 102–112.

Волчанская И.К. Морфоструктурные закономерности размещения эндогенной минерализации. М.: Наука, 1981. 240 с.

Гаврилов А.А. Проблемы морфоструктурно-металлогенетического анализа. Ч. II. Владивосток: Дальнаука, 1993. 141–326 с.

Гаврилов А.А. Некоторые парадоксы неомобилистских палеогеодинамических моделей и реконструкций (юг Дальнего Востока) // Отечественная геология. 2009. № 4. С. 53–61.

Гаврилов А.А. Морфотектоника окраинно-континентальных орогенных областей (юг Дальнего Востока и прилегающие территории). Владивосток: ТОИ ДВО РАН, 2017. 312 с.

Гаврилов А.А. Актуальные теоретические вопросы геоморфологических и морфотектонических исследований. Владивосток: Дальнаука, 2022а. 324 с.

Гаврилов А.А. Новые данные о строении подводных возвышенностей Богорова, Тояма и прилегающих участков дна Японского моря (по результатам геоморфологических и космогеологических исследований) // Исследование Земли из космоса. 2022б. № 3. С. 17–29.  
DOI: 10.31857/S0205961422030058.

Геодинамика, магматизм и металлогения востока России. Под ред. А.И. Ханчука. Владивосток: Дальнаука, 2006. Кн. 1. 572 с.

Геологическая карта СССР М 1: 1000 000 (новая серия). Объяснительная записка. Лист N – (53), 54. Отв. ред. С.А. Салун. Л.: ВСЕГЕИ, 1981. 112 с.

Герасимов И.П. Три главных цикла в истории геоморфологического этапа развития Земли // Геоморфология. 1970. № 1. С. 19–28.

Глубинное строение и металлогения Восточной Азии / отв. ред. А.Н. Диденко, Ю.Ф. Малышев, Б.Г. Саксин. Владивосток: Дальнаука, 2010. 332 с.

Грачев А.Ф. Мантийные плюмы и проблемы геодинамики // Физика Земли. 2000. № 4. С. 3–37.

Данилова Е.А. Радиально-концентрические структуры фундамента древней платформы и условия возникновения очагов генерации углеводородов: реконструкция по сейсмическим данным // Геотектоника. 2022. № 3. С. 36–49.  
<https://doi.org/10.31857/S0016853X22030043>

Кац Я.Г., Полетаев А.И., Румянцев Э.Д. Основы линейментной тектоники. М.: Наука, 1986. 140 с.

Красный Л.И. Основы учения о блоковой (геоблоковой) делимости литосферы // Геологический журнал. 1993. № 3. С. 4–13.

Кулаков А.П. Морфоструктура Востока Азии. М.: Наука, 1986. 175 с.

Кулаков А.П., Ермошин В.В., Ищенко А.А., Никонова Р.И. Мегаморфоструктура в районе Магеллановых гор (запад Тихого океана) // Вестник ДВО АН СССР. 1990. № 4. С. 68–75.

Ласточкин А.Н. Морфодинамический анализ. Л.: Недра, 1987. 256 с.

Лукашов А.А. Рельеф планетных тел. Введение в сравнительную геоморфологию. М.: Изд-во Моск. Ун-та, 1996. 110 с.

Мельников М.Е. Месторождения кобальтоносных марганцевых корок. Геленджик: ФГУГП ГНЦ Южморгеология, 2005. 230 с.

Плетнев С.П., Мельников М.Е., Съедин В.Т., Седышева Т.Е., Авдонин А.В., Анохин В.М., Захаров Ю.Д., Пунина Т.А., Смирнова О.Л. Геология гайотов Магеллановых гор (Тихий океан). Владивосток: Дальнаука, 2020. 200 с.

- Романовский Н.П.* Тихоокеанский сегмент Земли: глубинное строение, гранитоидные рудно-магматические системы. Хабаровск, ИТиГ ДВО РАН, 1999. 166 с.
- Салун С.А.* Тектоника и история развития Сихотэ-Алинской геосинклинальной складчатой системы. М.: Недра, 1978. 183 с.
- Сахно В.Г.* Позднемезозойско-кайнозойский континентальный вулканизм Восточной Азии. Владивосток: Дальнаука, 2001. 237 с.
- Середин В.В.* Сводово-глыбовые структуры Тихоокеанского орогенного пояса. М.: Недра, 1987. 181 с.
- Серокуров Ю.Н., Калмыков В.Д., Громцев К.В.* Дистанционная оценка алмазоносного Потенциала северо-западного региона России // Отечественная геология. 2009. № 1. С. 48–52.
- Смирнов Л.Е.* Трехмерное картографирование. Л.: ЛГУ, 1982. 104 с.
- Смирнова М.Н.* Нефтегазоносные кольцевые структуры и научно-методические аспекты их изучения // Геология нефти и газа. 1997. № 9. С. 1–6.
- Соловьев В.В.* Структуры центрального типа территории СССР по данным геолого-морфологического анализа. Объяснительная записка к карте морфоструктур центрального типа территории СССР. М 1:10 000. Л.: ВСЕГЕИ, 1978. 110 с.
- Спирidonov А.И.* Геоморфологическое картографирование. М.: Недра, 1985. 183 с.
- Сухов В.И.* Металлогеническое районирование территории Дальнего Востока России // Тихоокеанская геология. 2000. Т. 19. № 5. С. 7–20.
- Томсон И.Н., Кравцов В.С., Кочнева Н.Т., Курчатов А.М., Середин В.В., Селиверстов В.А., Танаева Г.А.* Металлогения орогенов. М.: Недра, 1992. 272 с.
- Уфимцев Г.Ф.* Тектонический анализ рельефа (на примере Востока СССР). Новосибирск: Наука, 1984. 183 с.
- Ханчук А.И.* Палеогеодинамический анализ формирования рудных месторождений Дальнего Востока России // Рудные месторождения континентальных окраин. Владивосток: Дальнаука. 2000. С. 5–34.
- Худяков Г.И.* Геоморфотектоника юга Дальнего Востока. М.: Наука, 1977. 256 с.
- Norton I.O.* Global hotspot reference frames and plate motion // The history and dynamics of global motions. AGU Geophys. Monograph. 2000. № 121. P. 339–357.
- Gavrilov A.A.* The Darwin Rise and geomorphologic-geological indication of focal systems on the Pacific ocean floor // New Concepts in Global Tectonics Newsletter, 2015. V. 3. № 2. P. 196–207.
- Gavrilov A.A.* Ring structures of the Pacific Ocean bottom and some problems with their Investigations // NCGT Journal. 2018. V. 6. № 2. P. 172–202.
- Wessel P.* A reexamination of the flexural deformation beneath the Hawaiian Islands // J. Geophys. Res. 1993. V. 98. P. 12177–12190.
- Pacific gravity map, 2006 (<https://Oceangravitymap.gif>).  
<https://ocean3dprojects.org/tag/ocean3d-ocean3dprojects>.

## The Integrate Geomorphological, Morphotectonics Investigations Using Remote Sensing Data from Space as the Basis for the Efficiency Increasing of Geological Works

A. A. Gavrilov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute, FEB RAS, Vladivostok, Russia*

The underestimation of the integrated application of geomorphological, morphotectonic information and materials of space remote data during a geological research, the geological survey and predictive-prospecting work significantly reduces their effectiveness. The imperfection of the geomorphological researches methodology focused on the study of territories relief as a collection of surfaces of geological bodies is one of the possible reasons for this. Perspectives opens the transition to the research of landforms and geological structures, bodies in their unity, as three-dimensional, volumetric objects. Fundamentally new opportunities for studying the geology of the seas and oceans bottom are associated, in particular, with the visualization of digital 3D relief models created on the basis of the global bathymetric database GEBCO 2014 (<http://Ocean3dprojects...>), regional echo-depth-sounder metering's maps, altimetry materials and remote sensing of the Earth from space. The topicality of such investigations is also due to the fact determined that plate tectonics cannot explain many features of the structure of the Earth and individual regions relief. A number of examples show that modern geomorphology combined with methods of remote sensing from space and computerization should be considered as one of the necessary disciplines for geological mapping and work aimed at solving various geological problems. The further common development of the planet relief sciences (geomorphology + morphotectonics) determines the need to train geomorphologists at both geographical and geological faculties of universities.

*Keywords:* morphotectonics, morphostructural analysis, digital 3D relief models, space geology, focal geodynamics, plume tectonics

## REFERENCES

- Boytsov M.N., Ganeshin G.S., Plotnikova M.I., Seliverstov Yu.P., Solov'ev V.V., Chemekov Yu.F.* Metodicheskoe rukovodstvo po geomorfologicheskim issledovaniyam / Pod. red. Yu. F. Chemekov [Methodological Guide to Geomorphological Researches / Ed. Yu. F. Chemekov]. Leningrad: Nedra, 1972. 384 p. (In Russian.)
- Bryukhanov V.N., Bush V.A., Glukhovskiy M.Z., Zverev A.T., Kats Ya.G., Makarova N.V., Sulidi-Kondrat'ev E.D.* Koltsevye struktury kontinentov Zemli [Ring structures of Earth's continents]. Moscow: Nedra, 1987. 184 p. (In Russian.)
- Bugakov P.Yu., Kasyanova E.L., Cherkas M.V.* Sosdanie geomorfologicheskoy 3D karty [Creation of a geomorphological 3D map] // Bulletin of SGUGiT. V. 22. № 4. P. 102–112. (In Russian.)
- Danilova E.A.* Radial'no-kontsentricheskie struktury fundamenta drevnei platform i usloviya vozniknoveniya ochagov generatsii uglevodorodov: rekonstruktsiya po seismicheskim dannym [Radially concentric structures of the ancient platform basement and conditions of the hydrocarbon generation centers origin: reconstruction according to seismic data] // Geotektonika. 2022. № 3. P. 36–49. (In Russian). <https://doi.org/10.31857/S0016853X22030043>
- Gavrilov A.A.* Problemy morfostrukturno-metallogenicheskogo analiza. Kn. II. [Problems of morphostructural-metallogenic analysis. Book II.]. Vladivostok: Dal'nauka. 1993. 141–326 p. (In Russian.)
- Gavrilov A.A.* Nekotorye paradoksy neomobilisticheskikh paleogeodinamicheskikh modelei i rekonstruktsii (Yug Dal'nego Vostoka) [Some paradoxes of neomobilistic paleogeodynamic models and reconstructions (the Far East South)] // Otechestvennaya geologiya. 2009. № 4. P. 53–61. (In Russian.)
- Gavrilov A.A.* The Darwin Rise and geomorphologic-geological indication of focal systems on the Pacific ocean floor // New Concepts in Global Tectonics Newsletter. 2015. V. 3. № 2. P. 196–207.
- Gavrilov A.A.* Morfotektonika okrainno-kontinentalnykh orogennykh oblastei (Yug Dal'nego Vostoka i priliegaiushchie territorii) [Morphotectonics of marginal-continental orogenic regions (the Far East South and adjacent territories)]. Vladivostok: POI FEB RAS. 2017. 312 p. (In Russian.)
- Gavrilov A.A.* Ring structures of the Pacific Ocean bottom and some problems with their investigations // NCGT Journal. 2018. Iss. 6. № 2. P. 172–202.
- Gavrilov A.A.* Aktualnye teoreticheskie voprosy geomorfologicheskikh i morfotektonicheskikh issledovaniy [Actual theoretical questions of geomorphological and morphotectonic researches]. Vladivostok: Dal'nauka, 2022a. 324 p. (In Russian.)
- Gavrilov A.A.* Novye dannye o stroenii podvodnykh vozvyshebnostey Bogorova, Toyama i priliegachshikh uchastkov dna Yaponskogo moraya (po rezultatam geomorfologicheskikh i kosmogeologicheskikh issledovaniy) [New data on the structure of Bogorov, Toyama underwater uplands and adjacent areas of the Sea of Japan bottom (based on the results of geomorphological and cosmogeological investigations)] // Issledovanie Zemli iz kosmosa. 2022b. № 3. P. 17–29. (In Russian). DOI: 10.31857/S0205961422030058.
- Geodinamika, magmatizm i metallogeniya Vostoka Rossii / Pod. red. A.I. Khanchuka. [Geodynamics, magmatism and metallogeny of the Russian East] / Ed. A.I. Khanchuk. Vladivostok: Dal'nauka, 2006. Book. 1. 572 p. (In Russian.)
- Geologicheskaya karta SSSR M 1: 1000 000 (novaya seriya). (1981). Ob'yasnitel'naya zapiska. [Geological map of the USSR. Scale 1:1000 000 (new series). Explanatory note]. Sheets N – (53), 54 / Ed. S.A. Salun. Leningrad: VSEGEI, 1981. 112 p. (In Russian.)
- Gerasimov I.P.* Tri glavnykh tsikla v istorii geomorfologicheskogo etapa razvitiya Zemli [Three main cycles in the history of the geomorphological stage Earth development] // Geomorfologiya. 1970. № 1. P. 19–28. (In Russian.)
- Glubinnoe stroenie i metallogeniya Vostoka Azii [Deep structure and metallogeny of East Asia] / Ed. A.N. Didenko, Yu.F. Malyshev, B.G. Saksin. Vladivostok: Dalnauka, 2010. 332 p. (In Russian.)
- Grachev A.F.* Mantiinye plумы i problemy geodinamiki [Mantle plumes and problems of geodynamics] // Physics of the Earth. 2000. № 4. P. 3–37. (In Russian.)
- Kats Ya.G., Poletaev A.I., Rumyantseva E.D.* Osnovy lineamentnoi tektoniki [Fundamentals of lineament tectonics]. Moscow: Nauka, 1986. 140 p. (In Russian.)
- Khanchuk A.I.* Paleogeodinamicheskii analiz formirovaniya rudnykh mestorozhdenii Rossiiskogo Dal'nego Vostoka [Paleogeodynamic analysis of ore deposits formation of the Russian Far East] / Rudnye mestorozhdeniya kontinentalnykh okrain. Vladivostok: Dal'nauka, 2000. P. 5–34. (In Russian.)
- Khudyakov G.I.* Geomorfotektonika Yuga Dal'nego Vostoka [Geomorphotectonics of the Far East South]. Moscow: Nauka, 1977. 256 p. (In Russian.)
- Krasny L.I.* Osnovy ucheniya o blokovoi (geoblokovoi) delimosti litosfery [Fundamentals of the lithosphere block (geoblock) separability doctrine] // Geologicheskii zhurnal. 1993. № 3. P. 4–13. (In Russian.)
- Kulakov A.P.* Morfostruktura Vostoka Azii (Morphostructure of the East Asia). Moscow: Nauka, 1986. 175 p. (In Russian.)
- Kulakov A.P., Yermoshin V.V., Ishchenko A.A., Nikonova R.I.* [Megamorphostructure of the Magellan Mountains district (of the Pacific Ocean West)] // Vestnik DVO RAN. 1990. № 4. P. 68–75. (In Russian.)
- Lastochkin A.N.* Morfodinamicheskii analiz [Morphodynamic analysis]. Leningrad: Nedra. 1987. 256 p. (In Russian.)
- Lukashov A.A.* Rel'ef planetarnykh tel. Vvedenie v sravnitel'nyu geomorfologiyu [Relief of planetary bodies. Introduction to comparative geomorphology]. Moscow: Mosc. Univer. Publ., 1996. 110 p.
- Melnikov M.E.* Mestorozhdeniya kobaltonosnykh margantsevykh korok [Cobalt-rich manganese crust deposits]. Gendzhik: FGUGP GNTS Yuzhmorgeologiya, 2005. 230 p.
- Norton I.O.* Global hotspot reference frames and plate motion // The history and dynamics of global motions. AGU Geophys. Monograph. 2000. № 121. P. 339–357.
- Pletnev S.P., Melnikov M.E., Sedin V.T., Sedysheva T.E., Avdonin A.V., Anokhin V.M., Zakharov Yu.D., Punina T.A., Smirnova O.L.* Geologiya gaiotov Magellanovykh gor (Tikhii okean). [Geology of the Magellan Mountains Gayots (Pacific Ocean)]. Vladivostok: Dal'nauka, 2020. 200 p. (In Russian.)
- Romanovskiy N.P.* Tikhookeanskii segment Zemli: glubinnoe stroenie, granitoidnye rudno-magmaticheskie sistemy [The

- Earth's Pacific segment: deep structure, granitoid ore-magmatic systems]. Khabarovsk: ITiG DVO RAN, 1999. 166 p. (In Russian).
- Salun S.A.* Tektonika i istoriya razvitiya Sikhote-Alinskoi geosinklinalnoi skladchatoi sistemy. [Tectonics and the history of the Sikhote-Alin geosynclinal fold system]. Moscow: Nedra, 1978. 183 p. (In Russian).
- Sakhno V.G.* Poozdnevezozoysko-kaynozoyiskiy kontinentalny vulkanizm Vostoka Azii [Latemesozoic-Cenozoic continental volcanism of East Asia]. Vladivostok: Dalnauka, 2001. 237 p.
- Seredin V.V.* Svodovo-glybovye struktury Tikhookeanskogo orogennogo poyasa [Arch-block's structures of the Pacific Orogenic Belt]. Moscow: Nedra, 1987. 181 p. (In Russian).
- Serokurov Yu.N., Kalmykov V.D., Gromtsev K.V.* Distantionnaya otsenka almazonosnogo potentsiala severo-zapadnogo regiona Rossii [Remote estimation of the diamond-bearing potential of the Russian northwestern region] // Otechestvennaya geologiya. 2009. № 1. P. 48–52. (In Russian).
- Smirnov L.E.* Trekhmernoe kartografirovanie (Three-dimensional mapping). Leningrad: Len. Gos. Univer., 1982. 104 p. (In Russian).
- Smirnova M.N.* Neftegasonosnye kol'tsevye struktury i nauchno-metodicheskie aspekty ikh izucheniya. [Oil and gas bearing ring structures and scientific-methodological aspects of their study] // Geologiya nefti i gasa. 1997. № 9. P. 1–6. (In Russian).
- Soloviev V.V.* Struktury tsentralnogo tipa territorii SSSR po dannym geologo-morfologicheskogo analiza. Ob'yasnitelnaya zapiska k karte morfostruktur tsentralnogo tipa territorii SSSR. (Structures of the central type of the USSR territory according to data of geological-morphological analysis. Explanatory note to the map of central type morphostructures of the USSR territory). M 1:10 000 000. Leningrad: VSEGEI, 1978. 110 p. (In Russian).
- Spiridonov A.I.* Geomorfologicheskoe kartografirovanie (Geomorphological mapping). Moscow: Nedra, 1985. 183 p. (In Russian).
- Sukhov V.I.* Metalloginicheskoe raionirovanie territorii Lal'nego Vostoka Rossii [Metallogenic zoning of the Russian Far East territory] // Tikhookeanskaya geologiya. 2000. V. 19. № 5. P. 7–20. (In Russian).
- Thomson I.N., Kravtsov V.S., Kochneva N.T., Kurchavov A.M., Seredin V.V., Seliverstov V.A., Tanaeva G.A.* Metallogeniya orogenov [Metallogeny of orogenes]. Moscow: Nedra, 1992. 272 p. (In Russian).
- Ufimtsev G.F.* Tektonicheskii analiz reliefa (na primere Vostoka SSSR) [Tectonic relief analysis (on the the USSR East example)]. Novosibirsk: Nauka, 1984. 183 p. (In Russian).
- Volchanskaya I.K.* Morfostrukturnye zakonomernosti razmeshcheniia endogennoi Mineralizatsii [Morphostructural regularities of the endogenous mineralization distribution]. Moscow: Nauka, 1981. 240 p. (In Russian).
- Wessel P.* A reexamination of the flexural deformation beneath the Hawaiian Islands // J. Geophys. Res. 1993.V. 98. P. 12177–12190.
- Pacific gravity map, 2006 ([https:// Ocean gravity map.gif.](https://OceanGravityMap.gif))  
<https://ocean3dprojects.org/tag/ocean3d-ocean3dprojects>