

## Дискуссии

УДК 551.24:551.4

DOI: 10.31431/1816-5524-2022-3-51-84-95

### ВОПРОСЫ МЕТОДОЛОГИИ ГЕОЛОГО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ МЕТАЛЛОГЕНИИ

© 2021 А.А. Гаврилов

*Тихоокеанский океанологический институт им В.И. Ильичева ДВО РАН,  
Владивосток, Россия, 690041; e-mail: gavrilov@poi.dvo.ru*

Рассмотрены основные вопросы методологии геолого-геоморфологического изучения (рудная геоморфология, морфоструктурный анализ, морфотектоника, неотектоника) рудоносных территорий. Сформулированы понятия «элемента организации геоморфологических систем» как мельчайшей частицы вещества, сохраняющей структуру и свойства минерала, а также «целей», «объектов» и «предметов» морфоструктурных и морфотектонических исследований для решения задач металлогении. На территориях со сложным геологическим строением рекомендуется проведение комплексных морфоструктурных и морфотектонических работ при неоднократном решении прямой и обратной задач: рельеф — геологическая среда, геологическая среда — рельеф. Это позволит установить всю совокупность имеющихся детерминированных и хронологических связей между формами рельефа и структурными элементами литосферы. Наряду с решением традиционных задач рудной геоморфологии, предлагается использовать разработанный оригинальный комплекс морфоструктурных и морфотектонических исследований.

*Ключевые слова: методология, рудная геоморфология, морфотектоника, морфоструктура, неотектоника, металлогения.*

#### ВВЕДЕНИЕ

Целесообразность и актуальность применения геолого-геоморфологических исследований для выявления основных особенностей строения рудоносных территорий и оценки закономерностей локализации, распространения проявлений и месторождений полезных ископаемых определяется рядом факторов:

— высокой информативностью рельефа, эффективностью применения геоморфологических и космогеологических данных для индикации не только поверхностных, но и глубинных (скрытых) элементов геологического строения;

— появлением новых материалов исследований (космические снимки, модели цифрового рельефа, данные ревизии геологических съемок и др.), совершенствованием теоретических представлений, концепций (линеamentная, плюмовая тектоники, учение о кольцевых структурах, нелинейная, ринговая металлогения и др.);

— необходимостью системного подхода к анализу и синтезу разнородных геоморфологических, геологических, геофизических данных и материалов дистанционного зондирования Земли из космоса на единой методической основе;

— перспективностью и эффективностью исследований на стыке различных научных дисциплин, в частности, при решении общих задач геоморфологии и тектоники, геоморфологии и металлогении;

— запросами производственной геологии, требующих создания более эффективных и менее затратных способов, методик поиска и прогноза оруденения с учетом уровня изученности территорий.

Экспрессные, преимущественно камеральные виды работ при геолого-геоморфологическом изучении рельефа, применение материалов дистанционного зондирования Земли из космоса, возможность синтеза разноплановой

информации и другие специфические черты таких комплексных исследований имеют особое значение при освоении огромных и богатых полезными ископаемыми территорий Сибири и Дальнего Востока России. На фоне многообразия существующих представлений и подходов к использованию данных о строении и развитии рельефа для решения задач металлогении в рамках таких направлений исследований как рудная геоморфология, морфоструктурный анализ, морфотектоника, неотектоника (Волчанская, 1981; Гаврилов, 1993, 2015; Металлогения..., 1992; Рундквист, Волчанская, 1987; Середин, 1987; Скублова, 1987 и др.) целесообразно периодическое уточнение и совершенствование существующих теоретических положений и модельно-целевых установок.

### ОБЪЕКТЫ, ПРЕДМЕТЫ И ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ГЕОЛОГО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ РУДОНОСНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Накопленные к настоящему времени многочисленные эмпирические данные показывают, что в рельефе Земли прямо или опосредованно отражаются: 1 — параметры, морфология, генотип, возраст, иерархия, глубины и механизмы формирования геологических дислокаций и тел, создающих структурную основу неровностей поверхности литосферы (ПЛ); 2 — масштабы и особенности дегазации и дефлюидизации мантии, явления плюмовой тектоники, мантийного диапиризма, метаморфизма и магматизма; 3 — направленность (конструктивная, деструктивная), характер (унаследованный, наложенный, пульсационный и др.) и интенсивность тектонических движений; 4 — влияние космогенных факторов морфогенеза (метеоритная бомбардировка, лунные приливы и отливы, солнечная радиация); 5 — вулканические, сейсмотектонические, оползневые, селевые и другие эндогенные и экзогенные геодинамические явления; 6 — физико-механические и химические свойства пород, обуславливающие морфолитодинамический эффект; 6 — климатические, ландшафтные условия, характер и интенсивность процессов экзогенного морфогенеза; 7 — общие закономерности рельефообразования, связанные с планетарной и региональными тенденциями планации неровностей ПЛ и балансом эндогенного и экзогенного энергомассопереноса, а также с цикличностью текто- и морфогенеза, явлениями геоморфологической конвергенции и гомологии (Гаврилов, 2017).

Унификации и формализации геолого-геоморфологических исследований для целей

металлогении во многом мешает наличие двух различных подходов к изучению рельефа, реализованных в виде концепций его «геометризации» и «овеществления» (Ласточкин, 2002). В рамках первой — объектами исследований выступают неровности поверхности ПЛ, поэтому в качестве элемента организации геоморфологических систем (ГМС) рассматриваются двумерные образования — генетически однородные элементарные поверхности и соответствующие плоскостные морфологические элементы (Ласточкин, 2002; Лихачева, Тимофеев, 2008; Лихачева и др., 2009). Для второй концепции основными объектами являются объемные формы рельефа, соотносимые с геологическими телами или структурами, имеющими конформное вещественное содержание (Гаврилов, 1985, 1993, 2015, 2017; Худяков, 1977 и др.).

Если структурная геоморфология изучает все особенности геометрии и строения неровностей ПЛ независимо от генезиса и возраста форм, то основная цель морфоструктурного анализа — выявление на основе геоморфологических данных из существующего множества дислокаций тех, которые играют главную роль в создании тектонической основы рельефа территории. Так как начальные этапы работ сопряжены с изучением морфологического ландшафта, то в качестве объектов морфоструктурных исследований, следует рассматривать формы рельефа, которые служат индикаторами как коровых, так и глубинных элементов структурного плана. При высокой интенсивности денудационных и аккумулятивных процессов в зоне гипергенеза Земли их особая рельефообразующая роль обусловлена, прежде всего, эндогенной активностью, которая проявилась либо на неотектоническом этапе тектогенеза, либо на более длительном отрезке геологической истории при унаследованном развитии. Предмет морфоструктурных исследований — модели, описывающие эндогенные формы рельефа с конформными структурными и вещественными комплексами. При этом целесообразно выделить несколько аспектов (или типов) конформности: морфологический — при подобии форм рельефа и геологических структур или тел; структурный — при совпадении элементов внутреннего строения, симметрии геологических дислокаций, тел и связанных с ними форм рельефа; геодинамический, когда направленность развития форм земной поверхности неразрывно связаны с геодинамикой геологических структур; иерархический — предполагающий совпадения рангов геологических и геоморфологических объектов (Гаврилов, 2015).

Цель морфотектоники — использование геоморфологических данных для оценки морфологических, геодинамических и генетических

характеристик и типизации элементов структурного плана, выраженных в рельефе, определение характера и интенсивности тектонических движений. Объект исследования — геологическая структура с конформным ей рельефом, или геоморфоструктура по Г.И. Худякову (1977). Предмет — комплекс статических, геодинамических и историко-генетических моделей, описывающих и объясняющих морфологию, строение, развитие и происхождение рельефообразующих геологических дислокаций. Если морфоструктурный анализ направлен на решение прямой задачи — от анализа рельефа к изучению геологического содержания — то морфотектоника обеспечивает решение обратной. При господстве геосинклинальной гипотезы, например, в качестве каркасных тектонических элементов горных поднятий, обычно рассматривались складчатые комплексы, в частности, антиформы (антиклинории, антиклинали) или претерпевшие инверсию синклинории (Худяков, 1977). В неомобилистских построениях это место сейчас занимают различные по вещественному составу террейны, рассматриваемые как коллизионные или коллизионно-аккреционные блоковые образования. В этом случае роль рельефа и геоморфологических признаков в тектонических моделях вторична: за методическую основу картографирования, районирования и исследований в целом берутся господствующие на данный исторический момент концепции и соответствующие геологические данные. О независимой роли геоморфологических методов в расшифровке особенностей геологического строения, развития территорий и механизмов тектоморфогенеза здесь говорить не приходится.

Альтернативный подход с гиперболизацией значения геоморфологической информации реализован в некоторых неотектонических построениях. Постулат о решающей роли новейшего этапа тектогенеза в формировании рельефа приводит к тому, что происходит совмещение объемов понятий «неотектоника» и «морфотектоника». Получается, что рельеф территорий может быть вообще не связан с докайнозойскими структурами и геологическими телами, а отражает лишь наложенные новейшие дислокации и движения земной коры. Подобный подход накладывает хронологические ограничения на фронт поисковых и прогнозных геолого-геоморфологических исследований для целей металлогении и противоречит имеющимся данным о наличии длительно живущих региональных структур и цикличности геологических процессов. Примерами могут служить глубинные разломы, срединные массивы, орогенные своды и другие образования, время существования которых может оцениваться десятками и сотнями мил-

лионов лет. Наведение «мостов» между неотектоникой и морфотектоникой осуществляется за счет признания унаследованности, длительности развития эндогенных форм рельефа, гетерохронности элементов морфоструктурного плана и явлений тектоморфогенеза в целом. Это позволяет рассматривать неотектонику как раздел морфотектоники, изучающий заключительный, наиболее молодой этап эндогенного рельефообразования, связанный с предшествующими периодами геологической эволюции территорий.

Обычно рассматриваются следующие аспекты взаимоотношений неотектоники и металлогении (Рудквист, Волчанская, 1987):

- влияние неотектонических движений и форм на размещение оруденения, образованного на неотектоническом этапе;

- выявление более древних рудоконтролирующих и рудолокализирующих структур, которые были активизированы на завершающем этапе эндогенного морфогенеза территорий;

- зависимость металлогенической зональности и районирования фанерозойских складчатых областей и докембрийских активизированных платформ, щитов, срединных массивов от неотектонических процессов.

И в этом случае принципиальное значение приобретают вопросы о соотношении унаследовано развивающихся и наложенных элементов структурного плана, гетерохронности явлений эндогенного рельефообразования.

Специфика объектов и предметов исследования морфоструктурного анализа и морфотектоники обуславливает различную приоритетность использования геологической, геофизической, геоморфологической, космогеологической информации и разные подходы к интерпретации данных при принципиальном сходстве методов получения информации. На территориях со сложным геологическим строением необходимо проведение комплексного морфоструктурно-морфотектонического анализа при неоднократном решении прямой и обратной задач структурной геоморфологии: рельеф — геологическая среда, геологическая среда — рельеф и т.д., до установления между эндогенными формами и структурными элементами литосферы всей совокупности детерминированных и хронологических связей.

Уже сам факт проявления докайнозойских рудных объектов и рудоконтролирующих и рудолокализирующих структур в современном рельефе указывает на то, что они были в различной степени активизированы на завершающем этапе геологического развития территорий. При существовании нескольких этапов тектогенеза, рудообразования и сложного комплекса морфоструктур разного генезиса, возраста и глубин

заложения важно определить хронологию и последовательность событий. Это позволит более точно определить денудационный срез рудоносных морфоструктур, решать вопросы выявления скрытых рудных тел и выбора перспективных площадей по совокупности геолого-геоморфологических и космогеологических данных.

Следует отметить, что связи процессов рудогенеза и рельефообразования могут быть достаточно многообразны, не ограничиваясь рамками гипсометрического и структурного контроля размещения скоплений рудной минерализации. Поскольку рельеф Земли связан с ПЛ, то элемент организации геоморфологических и геологических систем идентичен и отвечает минеральному уровню организации материи. Все это дает основание принять в качестве унифицированного и базового элемента организации ГМС разного порядка и генезиса мельчайшую частицу вещества, которая сохраняет свойства, структуру минерала и участвует в процессах рельефообразования (Гаврилов, 1985, 2015). Из этого следует, что элементарные геодинамические ГМС — мельчайшие частицы минералов, перемещаемые, соответственно, эндогенными или экзогенными силами при образовании и трансформации неровностей поверхности литосферы в ходе различных геологических процессов. Переход от элементов организации геологического пространства к геоморфологическим объектам разного порядка, сопоставимых с нано-, микро-, мезо-, макро- и мегаформами рельефа происходит в соответствии с систематикой иерархических уровней вещества: кристаллическая решетка – минерал – порода – фация – комплекс – формация. Таким же образом различные по масштабу изменения рельефа связаны с рангом дислокаций (микро-, мезо-, мегаскладчатость, различные по размерам блоки и др.). Например, возникновение локальных магматогенных морфоструктур может быть связано с аккумуляцией определенных фаций вулканитов или фазами внедрения магматического материала, а орогенным поясам, платформам и другим крупным формам рельефа конформны структурно-вещественные комплексы ранга геологических формаций (Флоренсов, 1989). Генетические классификации ГМС соответствующих порядков представляют собой перечень механизмов переноса различных видов геологического материала (литодинамические потоки по Н.А. Флоренсову (1989) с участием компонентов других геосфер.

Принятие такого универсального элемента организации расширяет возможности решения задач на стыке ряда наук о Земле, позволяя производить синтез разнообразной геоморфологической, геологической, геофизической и другой

информации на единой методической основе. Это дает возможность максимально адекватно оценивать рельефообразующую роль структурно-вещественных преобразований литосферы при различных геологических процессах, включая такие ранее недооцененные явления, как мантийный диапиризм, некоторые типы метаморфизма, перемещения газо-флюидных потоков, фазовые переходы, дегидратация минералов, рудогенез (например, рудный карст) и др.

Можно предполагать, например, что возникающий в ходе формирования орогенных поясов и зон изостатический эффект связан термическими аномалиями и со структурными разуплотнениями в зонах магмоконтролирующих разломов только на начальных стадиях, в последующем решающее значение приобретают масштабные, объемные структурно-вещественные преобразования литосферы под действием различных видов метасоматоза, характерных для заключительных стадий развития очаговых систем (Гаврилов, 2017). Такие явления способствуют возникновению пород, минералов и минеральных фаз относительно пониженной плотности и большего объема. Это образование слюд (флогопит, биотит), анартоклаза, лейцита, кальсилита, санидина, осуществления перехода граната в пироксен, серпентинизация базитов, гипербазитов и др. Считается (Семакин, Кочергин, 2007), что в условиях существования образований гранулитовой фации (20–25 км) и кристаллических сланцев формируются натриевые, плагиогранитовые серии, а для амфиболовой фации (10–12 км) типична калиевая гранитизация. Поскольку процессы кремне-щелочного метасоматоза протекают экзотермически при высоком уровне разогретости коры, могут возникать массивы анатектических гранитоидов.

Увеличенные мощности земной коры под горными сооружениями, общая корреляция региональных, глобальных неровностей поверхности Земли и поверхности Мохоровичича, существенные различия мощности литосферы материковых и океанических областей, а также другие данные свидетельствуют о глубинных «корнях» региональных и планетарных морфоструктурных элементов. Все это обуславливает необходимость перехода от плоскостных к объемным геоморфологическим и морфотектоническим модельным построениям. Построение и изучение геодинамических, историко-генетических моделей рельефа также возможно только на основе подхода к изучению форм как трехмерных геолого-геоморфологических образований.

Образование эндогенных геохимических аномалий различных порядков, включая рудопроявления и месторождения, — неотъемлемая часть общих геологических процессов (магма-

тизм, метаморфизм, литогенез и др.). Специфика рудных процессов заключается в работе потоков энергомассопереноса по мобилизации, транспортировке, дифференциации первично рассеянных (до уровня кларков) в горных породах рядах химических элементов и их последующей концентрации в относительно ограниченных объемах геологической среды. Любой рудный объект не только геохимическая, но палеоэнергетическая аномалия, количественная оценка которой устанавливается, главным образом, на основе определений объемов продуктов рудогенеза, гидротермальной деятельности, метасоматоза и магматизма. Геологическая аномальность рудных объектов выражена не только вещественными, но и структурными преобразованиями (зоны трещиноватости, дробления, флюидно-эксплозивные воронки и др.) вмещающих пород.

Основные предпосылки для реализации явлений рудогенеза связаны с существованием глубинных, коровых энергетических центров и зон, а также агентов и каналов переноса потенциально рудоносных магматических, гидротермальных и флюидных потоков. Это подтверждают накопленные к настоящему времени многочисленные материалы по структурному и морфоструктурному контролю эндогенного оруденения различных рудоносных территорий (Волчанская, 1981; Соловьев, 1978; Томсон и др., 1992; Яковлев, 1984 и др.), результаты изучения структур рудных полей, узлов, районов (Невский, Фролов, 1985; Томсон, 1988; Туговик, 1985; Умитбаев, 1987 и др.), историко-генетические и металлогенетические модели гранитосводового тектогенеза орогенов Центральной Азии (Байкальский..., 1984). Об этом свидетельствуют данные изучения районов современного вулканизма и рудообразования как на суше, так и на дне морей, океанов («черные» и «белые» курильщики) (Богданов и др., 2006; Doyle, Allen, 2003).

В основе представлений об особой рудоконтролирующей роли очаговых структур и явлений флюидогенеза лежат идеи П. Термье, Д.С. Коржинского, Ю.А. Кузнецова и других исследователей об интрателлурических газово-жидких глубинных потоках (Гаврилов, 1992), преобразующих окружающие их горные породы, многочисленные данные о формировании длительно живущих энергетических центров и магматических, флюидных потоков областей активного вулканизма (Масуренков, 1979), воззрениях о существовании в мантии плотностных и тепловых конвективных течений, мантийных плюмов, наличии «горячих точек» газовых термальных струй (Грачев, 2000; Летников, 2000; Щеглов, Говоров, 1985). Именно наличие центров длительной эндогенной активности и зон аккумуляции эндогенной энергии предопределяет

сопряженность и взаимосвязь явлений орогенеза, тектономагматической активизации, процессов структуро-, магмо- и рудообразования, а также морфогенеза в областях древнего, современного вулканизма и других геодинамически активных районах.

При использовании понятия потока энергомассопереноса автор настоящей работы в своих работах (Гаврилов, 1992, 1993, 2017 и др.) акцентирует внимание на том, что они должны охватывать все разнообразие процессов перемещения геологического материала в сфере морфогенеза. Генетические характеристики эндогенных потоков включают данные о природе вещества и источниках энергии, глубине, условиях их возникновения, формах реализации тепловой, механической энергии и перемещения вещества, факторах его аккумуляции, концентрации и т.д. Методологически важно, чтобы все анализируемые характеристики (работы по дифференциации, транспортировке, массы пород, времени и др.) относились к объемам перемещаемого потоками вещества и энергии через выбранную единичную площадь в единицу времени. Как уже указывалось (Гаврилов, 1985), элементарная динамическая геоморфологическая система в общем случае представляет элементарный объем вещества (соотносимый с кристаллической решеткой минерала), переносимый экзогенными или эндогенными силами.

Для получения данных об энергетике эндогенного потока применяются известные формулы Йокоямы (1957) по оценке тепловой энергии лавовых  $E = V\delta(T\alpha + \beta)I$  и эксплозивных  $E = V\delta T\alpha I$  извержений, где  $E$  — термальная энергия,  $V$  — объем извергнутого материала,  $\delta$  — его плотность,  $T$  — температура лавы,  $\alpha$  — удельная теплоемкость,  $\beta$  — скрытая теплоемкость,  $I$  — эквивалент работы тепла в эргах. Энергия магматических очагов по А. Ритману (1964) определяется на основе анализа количества энергии единицы объема какой-либо магмы и тепла, теряемого при охлаждении, с учетом данных о давлениях паров, которые пропорциональны первоначальному содержанию летучих и выделяются во время охлаждения (Масуренков, 1979).

Помимо этого, существуют понятия плотности энергии —  $Pe = E/S$ , где  $E$  — тепловая энергия,  $S$  — площадь распространения магматического материала в структурах (Лучицкий, 1966) и удельной плотности энергии  $V_{th} = Pe/t = E/st$ , где  $E$  — тепловая энергия извержения,  $Pe$  — плотность энергии,  $S$  — площадь распространения,  $t$  — время,  $V_{th}$  — удельная плотность энергии вулканического процесса, выражающая количество суммарной тепловой энергии, выделяющейся на площади 1 км за 1 млн лет. Приблизительная оценка тепловой мощности извержений и

фумарол осуществляется по высоте их облаков. При этом могут применяться формулы Мортон (при стандартном градиенте температуры воздуха  $\Gamma = -6.5^\circ\text{C}$ ):

$$Q, \text{ кВт} = \left( \frac{\Delta h_r, \text{ м}}{46} \right)^4$$

или Бриггса:

$$Q, \text{ 4кал/с} = 6.43 \cdot 10^3 \frac{\Delta h^3 u^3}{x^2}$$

где  $Q$  — тепловая мощность газовой струи,  $\Delta h$  — высота средней линии оси струи газа и пара над кратером,  $x$  — расстояние от места определения высоты до кратера,  $u$  — скорость ветра (Федотов, 1982). Более точная оценка тепловых полей, скорости, температур, плотности и других параметров потоков энергомассопереноса связана, видимо, с применением гидродинамических уравнений движения, созданием физических и математических моделей для эталонных очаговых систем.

Однако, наличие лишь энергетических предпосылок для рудообразования недостаточно. Если с этой группой факторов связана работа по мобилизации, физико-химической дифференциации и транспортировки рудных элементов, то условия их последующего разделения и концентрации задаются факторами, свойствами и условиями геологической и ландшафтной сред. Очевидно, что в отличие от очаговых систем, блоковые и складчатые дислокации не имеют необходимого энергетического потенциала и исполняют роль пассивных рудовмещающих структур, но их изучение в рамках задач, решаемых рудной геоморфологией, необходимая составляющая проводимых исследований. Это — анализ гипсометрических уровней размещения рудной минерализации разной формационной принадлежности и возраста, оценка гидрогеологической ситуации, литологических и физико-химических свойств пород, определение денудационного среза рудных тел коренных месторождений, перспектив россыпенности, сохранности кор выветривания территорий и др. Полученный комплекс данных, включая более детальные морфометрические, историко-генетические характеристики рельефа и космогеологическую информацию (кольцевые аномалии, соотносимые с очаговыми структурами, плотность, ранг линеаментов и др.), может быть использован для создания «геолого-геоморфологического образа» известных и потенциально перспективных площадей.

Являясь важнейшим элементом ландшафтов, ГМС во многом определяют гидрологическую, гидрогеологическую и газо-химическую обстановку, непосредственно влияя на условия

рудогенеза. Изучение различных генетических типов золоторудных формаций Дальнего Востока России (Буряк и др., 1986), например, показало наличие общих закономерностей локализации золотой минерализации, которые обусловлены избирательной приуроченностью к определенным структурно-гипсометрическим уровням региона, контролировавшим ранее палеогидрохимическую зональность подземных вод. Оруденение золотокварцевой формации сопряжено с субаэральной зоной свободного водообмена, зоной окисленных бикарбонатных вод. К вышележащему пласту сульфатных вод приурочены незолотоносные и слабозолотоносные алуитовые и каолиновые кварциты. В нижележащей зоне неокисленных хлоридных вод концентрируется полиметаллическое и колчеданное оруденение с золотом, связанным с сульфидами. Вертикальный размах оруденения золото-кварцевой формации зависит от положения верхней и нижней границ бикарбонатной геохимической зоны, которое определяется, прежде всего, вертикальной расчлененностью рельефа эпох рудообразования. В высокогорных условиях этот размах может достигать 1000–1200 м, в среднегорных — варьирует от 300 до 600 м, в низкогорье и холмогорье не превышает 100 м. Как показало изучение локализации месторождений и проявлений малоглубинной золото-серебряной формации Нижнеамурской провинции, благоприятные условия рудогенеза связаны с наличием отрицательных морфоструктур (грабены, кальдеры) и участием метеорных вод (Гаврилов, 1992, 1993). Тесная связь современных гидротермальных систем с речными долинами и грабенами, заложенными по зонам разломов, хорошо известна на Камчатке и в других районах современного вулканизма.

Таким образом, для проведения геолого-геоморфологических исследований рудоносных территорий оптимальна модельно-целевая установка, направленная как на выявление и изучение форм отражения в рельефе очаговых, разломных энергонесущих систем и их комбинаций, а также на анализ характеристик геологической и геоморфологической, ландшафтной сред, структурно-вещественных условий локализации и концентрации рудной минерализации. Предмет геолого-геоморфологических исследований рудоносных территорий включает комплекс статических, динамических и ретроспективных моделей, позволяющих проводить геологическую, геоморфологическую и космогеологическую, ландшафтную индикацию и изучение энергетических центров, каналов энергомассопереноса. Это позволяет давать оценку влияния как современного рельефа на условия сохранности рудных тел, так и реконструируемого

рельефа, определяющего многие факторы палео-ландшафтной среды (газовый, водный режим, геохимические барьеры и др.), на процессы рудообразования соответствующих этапов геологического развития территорий.

Акцентируя внимание на энергетических предпосылках рудообразования, необходимо отметить, что анализ проблемы структурно-вещественного взаимодействия глубинной мантии и литосферы, литосферной мантии и земной коры приводит к необходимости связать воедино идеи плюмовой тектоники с представлениями о существовании планетарной, региональных и локальных систем структур центрального типа и воззрениями о важнейшей роли процессов очагового текто- и морфогенеза. На основе адаптации известных физических представлений об объемном и канальном способах передачи энергии в пространстве к целям и задачам геоморфологии и геологии сформулирована концепция структурообразующих энергетических центров и зон (Гаврилов, 2017), которая органично включает и объединяет многие положения концепции очагового тектогенеза (Ежов, Худяков, 1984; Кольцевые..., 1986; Соловьев, 1978; Томсон и др., 1992), представления о явлениях мантийного диапиризма, астенолитов, плюмовой тектоники, горячих точек (пятен), интрателлурических потоков, струй, с одной стороны, и идеи линейной тектоники о существовании планетарной системы разрывных дислокаций и наличии сквозных магмо- и рудоконтролирующих региональных зон разломов (Волчанская, 1981; Кац и др. 1986; Томсон, 1988; Томсон и др., 1992 и др.) — с другой. Промежуточное положение занимают линейные объекты, образованные рядами энергетических центров разной природы и ранга (цепи вулканов, интрузивов, ряды магматических сводов, мантийных диапиров и др.) с характерными элементами трансляционной симметрии и линейно-узловой организацией внутренних элементов. С этих позиций любой магмоконтролирующий разлом можно рассматривать как потенциальную линейную группировку вулканических или плутонических структур (Гаврилов, 1992).

Создание прогнозных и поисковых моделей различных по геометрии и масштабам рудоносности энергонесущих систем литосферы предполагает установление пространственно-временных и иерархических соотношений категорий морфоструктурного и металлогенического видов районирования, на основе выделения изометричных и линейных группировок очаговых систем разного порядка (Гаврилов, 1993). Каждый рудный объект, хотя и представляет индивидуальное явление, несет черты металлогении региона (категории единичного и общего).

Поэтому общая направленность работ строится от частных моделей конкретных рудоконтролирующих очаговых систем до типовых и общих моделей, имеющих региональное значение. При изучении месторождений и рудных полей осуществляется выявление металлогенически специализированных очаговых систем, проводится их паспортизация и анализ отличительных геолого-геоморфологических признаков (гипсометрия, размеры, денудационный срез, глубина заложения, морфология, генезис кольцевых морфоструктур, тип инфраструктуры, состав, возраст, объемы магматических и метасоматических комплексов пород и др.). Исследования рудных районов, помимо этого, включают: анализ изменчивости строения рельефа, магматической и рудной специализации очаговых систем во времени и пространстве, установление соотношений категорий морфоструктурного и металлогенического типов районирования, разработку легенд соответствующих карт, схем на морфоструктурной и морфотектонической основе, определение общих и частных факторов локализации оруденения.

Формализованное, структурно-геометрическое описание очаговых морфоструктур различных тектонических областей позволило выделить три универсальных типа их внутреннего строения (ядерный, ядерно-сателлитный и сателлитный) с соответствующими подтипами (Гаврилов, 1993). Это обеспечивает возможность определения не только морфологического, но и структурного подобия, гомологии очаговых образований, сравнительного изучения связанных с ними рудно-магматических систем, осуществление их паспортизации, составления специализированных и региональных каталогов, создавая дополнительные условия и предпосылки для реализации работ по прогнозированию и поиску эндогенной минерализации различных территорий. Из положения о гомологии очаговых систем, в частности, следует, что модели локальных МЦТ, разработанные на основе репрезентативных геоморфологических и геолого-геофизических данных, принципиально применимы для объяснения морфологии, строения и механизмов формирования, развития морфоструктур центрально типа, связанных с глубинными инъективными дислокациями регионального и планетарного уровней (мантийные диапиры, плюмы). Наличие подобия между разными по рангу очаговыми образованиями можно рассматривать как признак достоверности выделения мегаобъектов (Гаврилов, 1993, 2017).

По мнению автора, в основе унификации, трендов развития, явлений самоорганизации и гармонии процессов рельефообразования лежат принцип минимизации затрат внутренней

энергии геоморфологических объектов и принцип Кюри, которые реализуются при адаптации морфологии и симметрии форм поверхности литосферы к симметрии силового (гравитационного) поля сферы морфогенеза (Гаврилов, 2016). Именно таким образом обеспечиваются селекция морфологических характеристик, гомология и конвергентное развитие форм рельефа с одной стороны и максимальная устойчивость, продолжительность их существования и доминирующая роль в формировании морфологического ландшафта — с другой. В общем случае геоморфологическую конвергенцию и, соответственно, гомологию можно рассматривать как следствие инвариантности, жесткой детерминированности процессов морфогенеза, обусловленных ограничениями, налагаемыми главными экзогенными (гравитация, климат) и эндогенными (тепломассоперенос, тектогенез) рельефообразующими факторами (Гаврилов, 2017). Очевидно, что эти явления препятствуют прямой индикации очаговых систем среди кольцевых аномалий, выявляемых по геоморфологическим и космогеологическим данным, требуя привлечения дополнительно геологической и геофизической информации.

Помимо изучения параметрических характеристик таких аномалий и закономерностей их пространственной организации, важна оценка их геоморфологической позиции. Уже на начальных этапах возникновения поднятий дифференцированность тектонических движений, специфика связанных с ними дислокаций, а также различия литоморфных свойств геологических тел приводят к обособлению аномальных по геодинамическим, структурным и вещественным характеристикам участков литосферы, которые на данный исторический момент обладают максимальным энергетическим потенциалом и устойчивостью к эрозионно-денудационным процессам. Именно они образуют основу будущих водораздельных узлов, сеть которых определяет последующее заложение, параметры и пространственные соотношения водосборов и, соответственно, рисунок долин водотоков, систем поднятий и распределение шлейфов рыхлых отложений. Целесообразно использовать термин «водораздельный узел» не только как точку на топографической или геоморфологической картах, где сходятся (расходятся) две, три и более водораздельных линий (узел-вершина), но и как специфическую форму рельефа с конформным геологическим содержанием (узел-морфоструктура), в пределах которой расположены истоки и верхние участки долин водотоков (Гаврилов, 2017). При отсутствии исторически сложившихся перекосов земной поверхности морфологические преобразования таких воздымающихся участков земной коры

определяются равной вероятностью направлений движения нисходящих литодинамических потоков. В этих условиях доминирующим становится радиальный рисунок водотоков, деятельность которых по перемещению дезинтегрированных масс горных пород на уровни их последующей аккумуляции способствует возникновению устойчивых к разрушению конусообразных, пирамидальных форм, характерных для очаговых морфоструктур. В орогенных областях крупные водораздельные узлы-морфоструктуры (ВУМ) соотносятся с центрами горообразования, которые, в связи с длительной эндогенной активностью, имеют особое рудоконтролирующее значение. В последующем такие геодинамические центры сохраняют свое орографическое значение и в условиях платформенного режима, оставаясь, по мере «старения» рельефа, эрозионной сети и водосборных бассейнов каркасными и наиболее консервативными элементами морфологического ландшафта, сохраняя свое рудоконтролирующее и россыпеобразующее значение.

По своей природе ВУМ представляют собой ключевые элементы строения и, одновременно, факторы развития различных орогенных систем и областей денудации в целом. Их геоморфологические, геологические и геофизические характеристики несут главную информацию о механизмах и факторах формирования положительных морфоструктур суши. Перестройки морфоструктурного плана, смены геодинамического режима и интенсивная деятельность агентов экзогенной сферы морфогенеза Земли определяют тот факт, что все выраженные в рельефе крупные положительные формы, играющие роль региональных ВУМ и концентрирующие истоки многих крупных рек, могут сохраняться только при периодической энергетической подпитке. Необходимое условие их устойчивого, длительного и унаследованного развития — продолжительная перманентная или дискретная, пульсационная деятельность центров эндогенной активности недр, соотносимых с очаговыми системами, имеющими, как правило, глубинную природу. Методика выделения и геолого-геоморфологического анализа ВУМ изложена в работе (Гаврилов, 2017). Предлагаемый геоморфологический подход к оценке факторов и механизмов тектогенеза позволяет проводить верификацию существующих тектонических моделей горообразования и идентификацию наложенных и унаследованных развивающихся элементов структурного плана территорий, определяющих размещение рудных объектов разного возраста, генезиса (Гаврилов, 1993, 2017).

Реконструкция ВУМ и общих геоморфологических, палеоландшафтных (суша, дно

акватории, речная долина, болото) условий эпох рудогенеза необходима для оценки денудационного среза и определения мощности, состава коррелятивных отложений и наличия в них экзогенных геохимических аномалий, россыпей; выяснение высотных уровней палеорельефа и участия ландшафтных реагентов (атмосферные газы, метеорные воды и др.) в создании физико-химических характеристик геологической среды. Такие работы важны для поиска и прогнозирования не только для эндогенных, но и осадочных, вулканогенно-осадочных, элювиальных, россыпных месторождений. В ходе денудации ранее консолидированных и относительно приподнятых областей (срединные массивы, щиты) и древних орогенных сводов экзогенные факторы выполняли работу по дифференциации геологического материала на минеральном и молекулярном уровне. В это время возникали обогащенные рудными элементами массы коррелятивных горных пород, накапливаемых в межгорных впадинах и в прилегающих, промежуточных коллекторах. Подобные литогеохимические аномалии разных масштабов и уровней концентрации в последующем, при изменении геодинамического режима, в условиях тектономагматической активизации могли служить источником рудных компонентов при формировании полигенных, метаморфогенных и регенерированных месторождений. Сочетание экзогенной и эндогенной дифференциации с обогащением геологического материала отдельными химическими элементами в ходе полного цикла тектогенеза создает наиболее оптимальные условия и предпосылки для образования крупных рудных объектов. Именно палеогеоморфологические факторы определяют более высокую концентрацию рудных объектов вокруг областей ранней консолидации и древних, унаследовано развивающихся центров горообразования. На Дальнем Востоке России примером могут служить рудные объекты Алданского щита (Южная Якутия), Буреинского и Охотского массивов (Сухов, 2000).

В основе чередования конструктивных и деструктивных тенденций развития орогенов, областей тектономагматической активизации и сопутствующих явлений рудообразования в ходе тектонических циклов лежит суперпозиция дискретной во времени, пульсационной деятельности глубинных энергогенерирующих центров ранга плюмов или мантийных диапиров и вариаций геодинамического режима на региональном и планетарном уровнях. В пределах надплюмовых сводов могут сосуществовать условия сжатия (периферия) и рифтогенного растяжения (центральная часть), что приводит к дифференцированному проявлению тектонических движений и различного по составу магматизма, а также

соответствующих дислокаций и форм рельефа. Это объясняет параллельное протекание процессов горообразования и рифтогенеза, базитового и кислого, контрастного магматизма сопряженное развитие областей поднятий и опусканий; чередование геодинамических режимов сжатия-растяжения, различную проницаемость земной коры и другие явления. Эти данные соотносятся с принципом параллельности развития рудных процессов в пределах месторождений, рудных узлов и районов при соучастии коровых и мантийных компонентов и факторов в реализации процессов рудообразования (Щеглов, Говоров, 1985). Примером может служить металлогения Японии, где наличие древнего сиалического фундамента и чередование конструктивных и деструктивных процессов тектогенеза с соответствующими вариациями составов конформных магматических комплексов объясняют полиформационный и гетехронный характер процессов оруденения, которые привели к образованию сиалического, фемического и гибридного (фемическо-сиалического) профилей рудной минерализации, описанных Е.А. Радкевич (1977).

Установленные ранее (Гаврилов, 1993, 1999) закономерности неравномерного размещения рудных объектов и площадей в пределах очаговых систем разного порядка относительно диаметральных разломов (явления металлогенической диссиметрии и асимметрии) и предлагаемые критерии потенциальной продуктивности диаметральных блоков позволяют существенно сократить площади под непроизводительные поисковые, поисково-разведочные работы, выделить первоочередные объекты приложения сил и средств, более целенаправленно проводить геологические изыскания, решать вопросы поиска, прогнозирования рудных объектов.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Теоретическое обоснование геолого-геоморфологических исследований рудоносных территорий включает комплексный подход к анализу и синтезу геоморфологических, геологических, геофизических данных, материалов дистанционного зондирования из космоса и систему представлений, моделей, позволяющих изучать формы рельефа и геологические структуры в их единстве как трехмерные образования. Предлагаемый универсальный элемент организации геоморфологических систем в виде мельчайшей частицы вещества, сохраняющей свойства, структуру минерала и участвующей в процессах морфогенеза, создает условия для максимально адекватной оценки рельефообразующего значения структурно-вещественных преобразований литосферы при различных геологических

процессах, включая те, которые протекают на молекулярном уровне. Это открывает возможности анализировать рельефообразующее значение таких ранее недооцененных явления морфогенеза, как гранитизация, различные типы метаморфизма, метасоматоза, перемещения газо-флюидных потоков, фазовых переходов, дегидратации минералов, рудогенеза и др.

Сформулированные понятия «целей», «объектов» и «предметов» морфоструктурных и морфотектонических исследований для целей металлогении, позволяют более точно определять задачи и методы проводимых исследований, разрабатывать легенды прогнозных морфоструктурных и морфотектонических карт, схем рудоносных территорий. На территориях со сложным геологическим строением рекомендуется проведение комплексных морфоструктурных и морфотектонических исследований при неоднократном решении прямой и обратной задач: рельеф — геологическая среда, геологическая среда — рельеф и т.д., до установления между эндогенными формами рельефа и потенциально рудоносными структурными элементами литосферы всей совокупности детерминированных и хронологических связей.

Помимо решения традиционных задач рудной геоморфологии (определение гипсометрической позиции, денудационного среза рудных тел и др.), дополнительно предлагается проведение для целей металлогении следующего комплекса геолого-геоморфологических работ. Это — оценка роли ВУМ как энергетических и геодинамических центров разного порядка в строении и развитии рассматриваемых площадей; выявление территориальных систем очаговых морфоструктур и зон разломов, анализ их соотношений; типизация и паспортизация очаговых структур по ряду морфологических, структурных, генетических, вещественных и палеоэнергетических характеристик; выделение типов внутреннего строения очаговых рудно-магматических систем и определение их гомологии; сравнительное изучение морфоструктурных позиций рудных объектов и геохимических аномалий разного порядка, генезиса, возраста; разработка схемы принципиальных соотношений морфоструктурных и металлогенических таксонов районирования для изометричных и линейных рудоносных площадей; выявление основных элементов морфоструктурного плана эпох рудообразования и анализ его последующих трансформаций, включая неотектонический этап; оценка явления металлогенической асимметрии очаговых рудно-магматических систем; разработка геолого-геоморфологических и космогеологических поисковых признаков, критериев прогнозирования и др.

- Байкальский мегасвод (структура, магматизм, металлогения). Ю.В. Комаров, Э.Н. Копылов, А.А. Белоголовкин и др. Новосибирск: Наука, 1984. 120 с. [Baikalskymega-arch (structure, magmatism, metallogeny). Yu.V. Komarov, E.N. Kopylov, A.A. Belogolovkin and others. Novosibirsk: Nauka, 1984. 120 p. (in Russian)].
- Богданов Ю.А., Лисицын А.П., Сагалевиц А.М., Гурвич Е.Г. Гидротермальный рудогенез океанского дна. М.: Наука, 2006. 537 с. [Bogdanov Yu.A., Lisitsyn A.P., Sagalevich A.M., Gurchich E.G. Hydrothermal oreogenesis of the ocean floor. Moscow: Nauka, 2006. 537 p. (in Russian)].
- Буряк В.А., Гуменюк В.А., Маламин Н.Е. и др. Генетические типы золоторудных формаций ДВ // Тихоокеанская геология. 1986. № 2. С. 38–45 [Buryak V.A., Gumenyuk V.A., Malamin N.E. et al. Genetic types of gold ore formations of Far East// Pacific geology. 1986. № 2. P. 38–45 (in Russian)].
- Волчанская И.К. Морфоструктурные закономерности размещения эндогенной минерализации. М.: Наука, 1981. 238 с. [Volehanskaya I.K. Morphostructural regularities of endogenous mineralization placement. Moscow: Nauka, 1981. 238 p. (in Russian)].
- Гаврилов А.А. Геоморфологическая система с позиций принципа геолого-геоморфологической конформности // Основные проблемы теоретической геоморфологии. Новосибирск: Наука, 1985. С. 70–72 [Gavrilov A.A. Geomorphological system from the standpoint of the geological-geomorphological conformation principle // The main problems of theoretical geomorphology. Novosibirsk: Nauka, 1985. P. 70–72 (in Russian)].
- Гаврилов А.А. Проблемы морфоструктурно-металлогенического анализа. Ч. I. Владивосток: Дальнаука, 1992. С. 1–139 [Gavrilov A.A. Problems of morphostructural and metallogenic analysis. Pt. I. Vladivostok: Dalnauka, 1992. P. 1–139 (in Russian)].
- Гаврилов А.А. Проблемы морфоструктурно-металлогенического анализа. Ч. II. Владивосток: Дальнаука, 1993. С. 141–326 [Gavrilov A.A. Problems of morphostructural and metallogenic analysis. Pt. II. Vladivostok: Dalnauka, 1993. P. 141–326 (in Russian)].
- Гаврилов А.А. Минерагеническая асимметрия и диссимметрия эндогенных СЦТ. Ст. 1. Принцип Кюри и размещение руд металлов и алмазоносных кимберлитов в очаговых системах // Тихоокеанская геология. 1999. Т. 18. № 1. С. 103–114 [Gavrilov A.A. Mineragenic asymmetry and dissymmetry of central type endogenic structures. Paper 1. Curie principle and metal ore and diamond-bearing kimberlite distribution in hearth systems // Geology of the Pacific Ocean. 2000. Т. 16. № 6. P. 151–171].
- Гаврилов А.А. Некоторые вопросы геоморфологической терминологии // Геоморфология. 2015. № 3. С. 14–24 [Gavrilov A.A. Some questions of geomorphological terminology // Geomorphology. 2015. № 3. P. 14–24. <https://doi.org/10.15356/0435-4281-2015-3-14-24>].

- Гаврилов А.А.* О природе явлений геоморфологической конвергенции гомологии // Вестник МГУ. Сер. 5. География. 2016. № 4. С. 3–12 [*Gavrilov A.A.* On the nature of the of geomorphological convergence and homology // Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5, Geografiya. 2016. № 4. P. 3–12 (in Russian)].
- Гаврилов А.А.* Морфотектоника окраинно-континентальных орогенных областей (Юг Дальнего Востока и прилегающие территории). Владивосток: ТОИ ДВО РАН, 2017. 311 с. [*Gavrilov A.A.* Morphotectonics of the continental-margin orogenic regions (South of the Far East and adjacent territories). Vladivostok: POI FEB RAS, 2017. 311 p. (in Russian)].
- Грачев А.Ф.* Мантйные плюмы и проблемы геодинамики // Физика Земли. 2000. № 4. С. 3–37 [*Grachev A.F.* Mantle Plums and problems of geodynamics // Physics of the Earth. 2000. № 4. P. 3–37 (in Russian)].
- Ежов Б.В., Худяков Г.И.* Морфотектоника геодинамических систем центрального типа. Владивосток: ТИГ ДВО РАН, 1984. 127 с. [*Yezhov B.V., Khudyakov G.I.* Morphotectonics of central type geodynamic systems. Vladivostok: PGI FEB RAS, 1984. 127 p. (in Russian)].
- Кац Я.Г., Поletaев А.И., Румянцева Э.Д.* Основы линейментной тектоники. М.: Наука, 1986. 140 с. [*Katz Ya.G., Poletaev A.I., Rummyantseva E.D.* Fundamentals of lineament tectonics. Moscow: Nauka, 1986. 140 p. (in Russian)].
- Кольцевые структуры континентов Земли. Брюханов В.Н., Буш В.А., Глуховский М.З. и др. М.: Недра, 1987. 185с. [*Ring structures of the Earth's continents. Bryukhanov V.N., Bush V.A., Glukhovskiy M.Z. et al.* Moscow: Nedra, 1987. 185 p. (in Russian)].
- Ласточкин А.Н.* Системно-морфологическое основание наук о земле (геотопология, структурная география и общая теория геосистем). Санкт-Петербург: Изд-во СПбГУ, 2002. 762 с. [*Lastochkin A.N.* System-morphological basis of Earth sciences (geotopology, structural geography and general theory of geosystems). St. Petersburg: Petersburg State University, 2002. 762 p.].
- Летников Ф.А.* Флюидный режим эндогенных процессов в континентальной литосфере и проблемы металлогении. Проблемы глобальной геодинамики. М: GEOS, 2000. С. 204–224 [*Letnikov F.A.* Fluid regime of endogenous processes in the continental lithosphere and problems of metallogeny. Problems of global geodynamics. M: GEOS, 2000. С. 204–224 (in Russian)].
- Лихачева Э.А., Тимофеев Д.А.* Анализ геоморфологических систем: основные понятия // Геоморфология. 2008. № 2. С. 14–21 [*Likhacheva E.A., Timofeev D.A.* Analysis of geomorphological systems: basic notions // Geomorphology. 2008. № 2. P. 14–21. <https://doi.org/10.15356/0435-4281-2008-2-14-21>].
- Лихачева Э.А., Тимофеев Д.А., Чичаго В.П. и др.* Обсуждение основных понятий системного геоморфологического анализа // Геоморфология. 2009. № 4. С. 3–10 [*Likhacheva E.A., Timofeev D.A., Chichagov V.P. et al.* Discussion of the main notions of systemic geomorphological analysis // Geomorphology. 2009. № 4. P. 3–10. (in Russian)].
- Луцицкий И.В.* Сравнительная палеовулканология среднего и верхнего палеозоя юга Сибири и Восточного Казахстана. Новосибирск: Наука, 1966. 301 с. [*Luchitsky I.V.* Comparative paleovolcanology of the Middle and Upper Paleozoic of the Southern Siberia and Eastern Kazakhstan. Novosibirsk: Nauka, 1966. 301 p. (in Russian)].
- Масуренков Ю.П.* Вулканы над интрузиями. М.: Наука, 1979. 219 с. [*Masurenkov Yu.P.* Volcanoes over intrusions. M.: Science, 1979. 219 p. (in Russian)].
- Невский В.А., Фролов А.А.* Структуры рудных месторождений кольцевого типа. М.: Недра, 1985. 247 с. [*Nevsky V.A., Frolov A.A.* Structures of ring-type ore deposits. Moscow: Nedra, 1985. 247 p. (in Russian)].
- Радкевич Е.А.* Металлогенические провинции тихоокеанского рудного пояса. М.: Наука, 1977. 175 с. [*Radkevich E.A.* Metallogenics provinces of the Pacific ore belt. Moscow: Nauka, 1977. 175 p. (in Russian)].
- Рундквист Д.В., Волчанская И.К.* Неотектоника и металлогения. // Геотектоника. 1987. № 3. С. 3–15 [*Rundqvist D.V., Volchanskaya I.K.* Neotectonics and metallogeny // Geotectonics. 1987. № 3. P. 189–198].
- Семакин В.П., Кочергин А.В.* Глубинные факторы формирования новейших (неотектонических) поднятий континентальных районов. Фундаментальные проблемы геотектоники. Мат-лы XL Тектонического совещания. Т. II. М.: GEOS, 2007. С. 180–182 [*Semakin V.P., Kochergin A.V.* Deep factors of the latest (neotectonic) uplifts formation of continental regions. Fundamental problems of geotectonics. Proc. XL Tectonic conference. V. II. Moscow: GEOS, 2007. P. 180–182 (in Russian)].
- Середин В.В.* Сводово-глыбовые структуры Тихоокеанского орогенного пояса. М: Недра, 1987. 181 с. [*Seredin V.V.* Arch-block structures of the Pacific orogenic belt. Moscow: Nedra, 1987. 181 p. (in Russian)].
- Скублова Н.В.* Структурно-геоморфологические методы в прогнозно-металлогенических исследованиях. Л.: Недра, 1987. 177 с. [*Skublova N.V.* Structural and geomorphological methods in prognostic-metallogenetic investigations. Leningrad: Nedra, 1987. 177 p. (in Russian)].
- Соловьев В.В.* Структуры центрального типа территории СССР по данным геолого-морфологического анализа // Карта морфоструктур центрального типа территории СССР, М 1:10 000 000. Л.: ВСЕГЕИ, 1978. 110 с. [*Soloviev V.V.* Structures of the central type of the USSR territory according to geological and morphological analysis // Map of central type morphostructures of the USSR territory, Scale 1:10 000 000. Leningrad: VSEGEI, 1978. 110 p. (in Russian)].
- Сухов В.И.* Металлогеническое районирование территории Дальнего Востока России // Тихоокеанская геология. 2000. Т. 19. № 5. С. 7–20 [*Sukhov V.I.* Metallogenical zoning of the Far East territory of Russia // Pacific geology. 2000. V. 19. № 5. P. 7–20 (in Russian)].
- Томсон И.Н.* Металлогения рудных районов. М.: Недра, 1988. 215 с. [*Thomson I.N.* Metallogeny of ore areas. Moscow: Nedra, 1988. 215 p. (in Russian)].
- Томсон И.Н., Кравцов В.С., Кочнева Н.Т. и др.* Металлогения орогенов. М.: Недра, 1992. 272с. [*Thomson I.N., Kravtsov V.S., Kochneva N.T. et al.* Metallogeny of orogens. Moscow: Nedra, 1992. 272 p. (in Russian)].
- Туговик Г.И.* Флюидно-эксплозивные структуры и их рудоносность. М.: Наука, 1984. 193 с. [*Tugovik G.I.* Fluid-exposing structures and their ore bearing. Moscow: Nauka, 1984. 193 p. (in Russian)].

- Умитбаев Р.Б.* Охотско-Чаунская металлогеническая провинция. М., Недра. 1986. 286 с. [*Umitbaev R.B.* Okhotsko-Chaunsky metallogenical province. Moscow: Nedra, 1986. 286 p. (in Russian)].
- Федотов С.А.* Оценка выноса тепла и пирокластики вулканическими извержениями и фумаролами по высоте их струй и облаков // Вулканология и сейсмология. 1982. № 4. С. 3–28 [*Fedotov S.A.* Assessment of heat removal and pyroclasty by volcanic eruptions and fumaroles by the height of their jets and clouds // *Volcanology and seismology.* 1982. № 4. С. 3–28 (in Russian)].
- Флоренсов Н.А.* Рельеф и неотектоника. М.: Наука, 1989. 271с. [*Florensov N.A.* Relief and neotectonics. Moscow: Nauka, 1989. 271 p. (in Russian)].
- Худяков Г.И.* Геоморфотектоника юга Дальнего Востока. Moscow: Наука, 1977. 256 с. [*Khudyakov G.I.* Geomorphotectonics of the Far East South. Moscow: Nauka, 1977. 256 p. (in Russian)].
- Щеглов А.Д., Говоров И.Н.* Нелинейная металлогения и глубины Земли. М.: Наука, 1985. 325с. [*Sheglov A.D., Govorov I.N.* Nonlinear metallogeny and depths of the Earth. Moscow: Nauka, 1985. 325 p. (in Russian)].
- Яковлев Г.Ф.* Вулканогенные структуры месторождений полезных ископаемых. М.: Недра, 1984. 208 с. [*Yakovlev G.F.* Volcanogenic structures of mineral deposits. Moscow: Nedra, 1984. 208 p. (in Russian)].
- Doyle M., Allen R.* Subsea-floor replacement in volcanic-hosted massive sulfide deposits // *Ore Geology Review.* 2003. № 23. P. 183–222.

## GEOLOGICAL AND GEOMORPHOLOGICAL RESEARCH METHODOLOGY FOR METALLOGENIC PURPOSES

**A.A. Gavrilov**

*V.I. Ilyichev Pacific Oceanological Institute, Vladivostok, Russia, 690041; e-mail: gavrilov@poi.dvo.ru*

The basic questions of the methodology of geological and geomorphological study (ore geomorphology, morphostructural analysis, morphotectonics, neotectonics) of ore-bearing territories are considered. The concepts of "geomorphologic systems organization element" as the smallest particle of matter preserving the structure and properties of a mineral, as well as "objectives", "objects" and "subjects" of morphostructural and morphotectonic studies for solving problems of metallogeny have been formulated. In areas with complex geological structure, it is recommended to carry out complex of morphostructural and morphotectonic works with repeated solution of direct and inverse problems: relief and geological environment, geological environment relief. This will make it possible to establish the totality of available deterministic and chronological relations between landforms and structural elements of the lithosphere. Along with the solution of traditional problems of ore geomorphology, it is proposed to use the developed original complex of morphostructural and morphotectonic studies.

*Keywords: methodology, ore geomorphology, morphotectonics, morphostructure, neotectonics, metallogeny.*

Поступила в редакцию 17.06.2021  
После доработки 13.09.2021  
Принята в печать 27.09.2021