

МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ
ВИЗУАЛИРОВАННЫХ ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ РЕЛЬЕФА
ДЛЯ МОРФОСТРУКТУРНОГО
И МОРФОТЕКТОНИЧЕСКОГО КАРТОГРАФИРОВАНИЯ
ДНА МОРЕЙ И ОКЕАНОВ

Гаврилов А.А.

*Тихоокеанский океанологический институт имени В.И. Ильичева, Владивосток,
gavrilov@poi.dvo.ru*

Объекты морфоструктурного картографирования – эндогенные формы рельефа, несущие информацию о геологическом строении тех или иных участков литосферы. Морфотектонические карты демонстрируют геологические структуры, образующие основу морфологического ландшафта. Для новообразованных и молодых эндогенных форм рельефа различия между данными объектами картографирования и исследования минимальны, но для длительно экспонированных на поверхности литосферы (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 и соответственно определять тип, возраст геологического субстрата. Многие линейные поднятия в виде подводных хребтов, представляют в морфотектоническом аспекте цепи различных по размерам, времени формирования вулканоструктур, развивающихся сопряженно с зонами магмоконтролирующих разломов, и т. д.

В зависимости от ряда факторов (возраст, изменчивость, полицикличность процессов тектогенеза, магматизма, инверсии тектонического режима, активное действие экзогенных факторов морфогенеза и др.) облик экспонированных на поверхности литосферы геологических структур и тел может сильно меняться во времени. Если морфоструктурный анализ направлен на решение прямой задачи геоморфологии (от анализа рельефа к изучению геологического содержания), то морфотектоника обеспечивает решение обратной. Специфика объектов и предметов исследования этих дисциплин обуславливает различную приоритетность использования геологической, геофизической, геоморфологической информации, материалов дистанционного зондирования из космоса и

разные подходы к интерпретации данных. На территориях со сложным геологическим строением целесообразно 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 формами рельефа и геологической основой всей совокупности (во времени и пространстве) имеющихся детерминированных связей [1].

Визуализация глобальных цифровых моделей рельефа (ЦМР) ETOPO 1, 2, GEBCO 2014 [2] в комплексе с материалами дистанционного зондирования Земли из космоса в рамках существующих программ (Arcview GIS 3x, Google Earth и др.) открывает принципиально новые возможности для изучения геоморфологии и геологии дна морей, океанов. Перспективы связаны, в частности, с применением при анализе изображений методик морфоструктурного анализа и космогеологического дешифрирования. Особенно целесообразно применение данных дешифрирования 3D моделей подводного рельефа при изучении подводных возвышенностей разного типа, ранга и выступов акустического фундамента, которые отличаются относительно небольшим чехлом рыхлых отложений.

В соответствии со спецификой геологического строения и развития крайинно-континентальных орогенных областей Востока Азии, дна прилегающих морей и Тихого океана, главные объекты геоморфологических, космогеологических и морфотектонических исследований – разрывные нарушения и кольцевые очаговые системы, выраженные на ПЛ морфоструктурами, структурами центрального типа (МЦТ, СЦТ) [3-7]. В качестве основных признаков линейных аномалий (линеаментов), соотносимых с зонами разрывных нарушений, разломов на изображениях (Google Earth) рассматривались: протяженные (непрерывные или дискретные) узкие линейные или более широкие полосовые аномалии фототона, отличающиеся набором характерных черт, связанных с цветом, рисунком и структурой, или системами мелких деталей, элементов; 2) линейные границы разделов двух или более участков дна акваторий с различным окрасом, плотностью фототона; 3) дуговые, прямолинейные контуры впадин, поднятий, батиметрические уступы, блоковое строение рельефа; 4) цепи кольцевых аномалий, морфоструктур, блоков и других форм, элементов рельефа, указывающих на линейную упорядоченность объектов в геологической и геоморфологической средах.

Выявление и выделение очаговых систем на суше предполагают использование комплекса ландшафтных, геоморфологических, геологических, геофизических данных и материалов дистанционного зондирова-

ния из космоса. В зависимости от размеров, ранга, возраста выделяемых объектов и степени изученности территории набор используемых признаков и показателей меняется [6]. Постоянными признаками остаются: круговой, кольцевой рисунок и концентрическое строение выделяемых аномалий фотона, поля высот, геофизических полей; кольцевая геометрия геологических тел, структур; радиально-концентрическая зональность различных характеристик объектов; наличие упорядоченного расположения элементов внутреннего строения – радиальных, кольцевых разломов, моно-полиядерного, ядерно-сателлитного и орбитально-сателлитного унифицированных типов инфраструктур [3].

Более сложны индикация и идентификация кольцевых аномалий изображений дна акваторий, где моделируемый рельеф отображается на основе комплексирования данных, полученных различными системами спутниковой альтиметрии (цифровые модели высот геоида, отклонения отвесных линий, аномалий силы тяжести в свободном воздухе), результатов эхолотных съемок и батиметрических измерений. Достоверность выделения кольцевых аномалий фототона, соотносимых с проекциями очаговых структур подтверждается серией данных. Это – выдержанность параметрических и морфологических (купольные или воронкообразными и др.) характеристик кольцевых аномалий на различных участках дна, расположенных друг от друга на десятки и более км; радиально-концентрическая батиметрическая зональность форм рельефа; их упорядоченное, с элементами трансляционной симметрии, размещение в пределах полос выделяемых линеаментов, соотносимых с зонами магмоконтролирующих разломов; наличие принципиально похожих особенностей внутреннего строения кольцевых аномалий, имеющих дуговые, кольцевые и радиальные элементы, концентры и унифицированные типы размещения сателлитных элементов очаговых систем [5, 7].

Использование таких данных, как размеры островов, подводных возвышенностей, известных вулканических построек, мысов и других реперных объектов на батиметрических картах, позволяет уточнить параметры выделяемых на изображениях линейных, кольцевых аномалий и соотносимых с ними природных объектов. Высокая разрешающая способность изображений рельефа дна акваторий достигается синтезом материалов спутниковой альтиметрии и данных батиметрических карт, полученных в ходе детальных эхолотных съемок, проведенных в том или ином районах. Для заверки выявленных геоморфологических аномалий центрального и линейного типов типа используется комплекс имеющихся геологических, геофизических материалов по принципу необходимо и достаточно.

Процедура геоморфологической индикации осложняется тем, что конформная связь неровностей земной поверхности с геологическими телами и дислокациями отражает не только структурный, геодинамический, но и морфолитодинамический (морфоскульптурный) аспект морфогенеза, связанный с различной устойчивостью горных пород к процессам разрушения, эрозии и денудации. Существенно осложняет идентификацию элементов структурного плана явления геоморфологической конвергенции и гомологии, так как многие формы рельефа при подобии геоморфологических характеристик могут иметь разный генезис и возраст.

С целью выявления аномалий рельефа с характерными признаками МЦТ автором был проанализирован комплект батиметрических карт М 1: 2 000 000, покрывающих около 70 % площади дна Тихого океана. Последующая выборочная заверка их на основе геолого-геофизических материалов позволила оценивать эти закономерно организованные комплексы форм рельефа как очаговые образования разного генотипа и ранга: от отдельных вулканических построек и их упорядоченных группировок центрального, линейного типов до мантийных диапиров. Часть этих аномалий была проверена с применением данных 3D моделей цифрового рельефа, созданных на основе глобальной базы батиметрических данных GEBCO 2014 в рамках программы Google Earth (рис. 1).

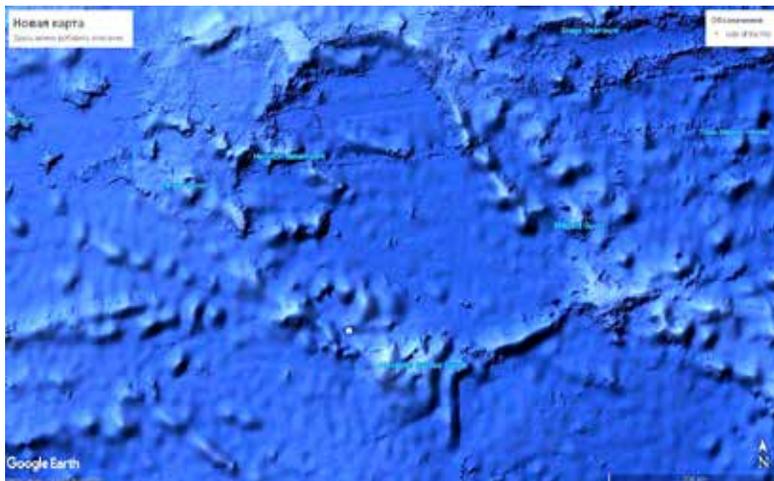


Рис. 1. Одна из кольцевых структур на дне Тихого океана по данным (GEBCO 2014, <http://Ocean3dprojects>, в рамках программы Google Earth). Горы Маркус-Неккер. Координаты геометрического центра МЦТ 19° 30' сев. ш., 178° 30' вост. долг. R = 200-250 км [1]

Общее количество выявленных геоморфологических аномалий, имеющих радиусы от десятков до первых сотен км, более 150. При наличии унифицированных характеристик, они различаются географической и тектонической позицией, параметрами, особенностями морфологии, размещением элементов внутреннего строения [7].

В ходе более детальных исследований северо-западных участков дна Японского моря, впервые были получены данные о качественных и количественных характеристиках структурных элементов подводных возвышенностей и прилегающих участках дна Центральной котловины Японского моря [4, 5]. Установлено, что возвышенность Богорова и ряд других поднятий представляют собой комплексы палеовулканических построек центрального типа, образующих с разрывными нарушениями и узлами их пересечений единые тектономагматические системы (рис. 2). Определены параметры, морфологические характеристики, особенности внутреннего строения (типы инфраструктур) палеовулканических структур, выявлены пространственные и иерархические (два ранга) системы

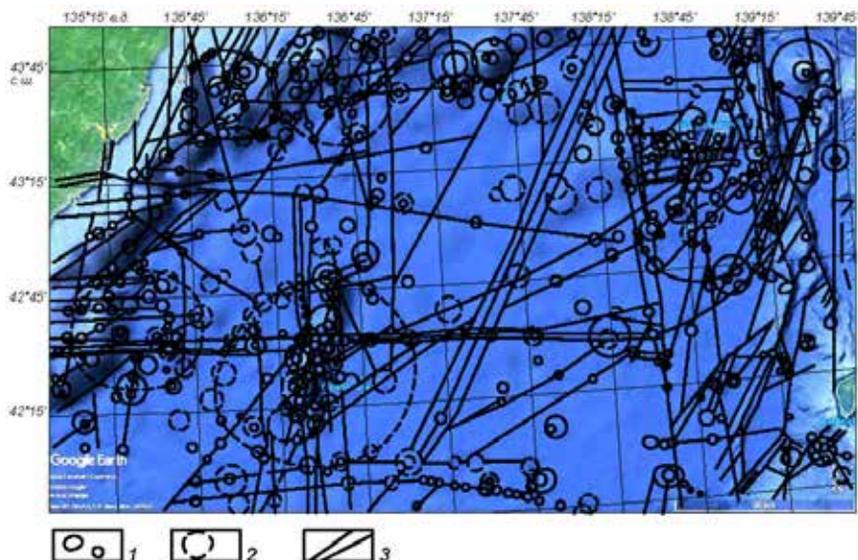


Рис. 2. Схема размещения кольцевых аномалий, соотносимых с проекциями палеовулканических центров, мантийных диапиров, и линеаментов, сопоставляемых с зонами разломов, северной части Центральной котловины Японского моря [5].

1–2 – кольцевые аномалии, соотносимые с проекциями очаговых систем разного ранга: 1 – выраженные отчетливо, 2 – проявленные менее контрастно; 3 – линеаменты.

разрывных нарушений и очаговых образований. Крупные концентрические группировки палеовулканов идентифицируются с проекциями мантйных диапиров. Впервые выявлен крупный широтной разлом (возможно, трансформный), который разделяет линейное поднятие Богорова на северный и южный блоки. Он состоит из серии субпараллельных разрывных нарушений и представляет собой единую зону дислокаций шириной более 5 км, которая проходит через всю Центральную котловину и протягивается далее на запад до бровки шельфа, но не прослеживается в пределах континента. Полученная информация позволяет с новых позиций оценить адекватность существующих моделей формирования и развития окраинно-континентальной впадины Японского моря [4].

Госбюджетная тема «Пространственно-временные изменения геофизических полей, их связь со структурой, геодинамикой и сейсмотектоническими процессами в литосфере дальневосточных морей России и их обрамлении» (0271-2016-0003). Регистрационный номер: ААА-А-А17-117030110032-3.

Литература

1. Гаврилов А.А. Актуальные теоретические вопросы геоморфологических и морфотектонических исследований. – Владивосток: Дальнаука, 2022. – 324 с.
2. <http://Ocean3dprojects...>
3. Гаврилов А.А. Морфотектоника окраинно-континентальных орогенных областей (юг Дальнего Востока и прилегающие территории). Владивосток: ТОИ ДВО РАН, 2017. 312 с.
4. Гаврилов А.А. Космогеологическая индикация морфоструктурных элементов побережий и дна прилегающих акваторий (зал. Петра Великого, Японское море) // Океанология. 2021. Т. 61. № 4. С. 633–648.
5. Гаврилов А.А. Новые данные о строении подводных возвышенностей Богорова, Тояма и прилегающих участков дна Японского моря (по результатам геоморфологических и космогеологических исследований) // Исследования Земли из космоса. 2022. № 3. С. 17-29.
6. Кольцевые структуры континентов Земли / В.Н. Брюханов, В.А. Буш, М.З. Глуховский и др. М.: Недра, 1987. 184 с.
7. Gavrilov A.A. Ring structures of the Pacific Ocean bottom and some problems with their investigations // NCGT Journal. 2018. Vol. 6. N 2. P. 172–202.