



ОСОБЕННОСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ВЬЕТНАМА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИНТЕРПРЕТАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ГРАВИРАЗВЕДКИ В КОМПЬЮТЕРНОЙ ТЕХНОЛОГИИ «КОСКАД 3D»

Т.Х. ФАН^{1,2,*}, А.В. ПЕТРОВ¹, М.Ф. ДО^{1,3}, М.З. ЛАЙ³, Ч.Л. НГУЕН³

¹ ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе»
23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия

² Ханойский горно-геологический университет Вьетнама
18, Фо Виен, Дыктханг, Бактыльем, г. Ханой, Вьетнам

³ Геофизическая федерация Главного управления геологии и полезных ископаемых Вьетнама
1, Чиентханг, Ванкуан, Хадонг, г. Ханой, Вьетнам

АННОТАЦИЯ

Введение. Центральные районы Вьетнама имеют стратегическое значение для республики и, по существу, являются воротами в страны АСЕАН. Инвестирование в разведку и оценку запасов минеральных ресурсов, особенно рудных полезных ископаемых, скрытых на больших глубинах, является конкретной и необходимой задачей для страны.

Цель. Уточнение структурно-тектонической схемы анализируемого района, выделение основных систем разломов и районирование центральной области Вьетнама по гравитационному полю на основе классификационных алгоритмов.

Материалы и методы. Решение поставленных задач осуществлялось путем оценки полного градиента гравитационного поля, анализа распределения дисперсии поля и результатов трассирований осей аномалии гравитационного поля. Интерпретационная обработка данных гравirazведки проводилась с использованием компьютерной технологии статистического и спектрально-корреляционного анализа данных «КОСКАД 3D».

Результаты. Выделенные системы разломов, играющие важнейшую роль в процессах минералообразования, имеют северо-западное, северо-восточное и широтное простирание. Районирование исследуемой территории по гравитационному полю, его характеристикам и имеющейся геологической информации позволило выделить 13 однородных областей. Каждая область характеризуется определенным уровнем гравитационного поля, значениями дисперсии и полного градиента поля, а также корреляционными связями между атрибутами. Анализ результатов классификации подтверждает сложность геологического строения района исследований и наличие трех основных простираний систем тектонических нарушений: северо-западного, северо-восточного и широтного.

Заключение. Большое количество выявленных с помощью методов вероятностно-статистического подхода, реализованных в компьютерной технологии «КОСКАД 3D», областей тектонических дислокаций различного простирания и интенсивности свидетельствует о перспективности исследуемой территории на предмет поиска рудных месторождений.

Ключевые слова: гравитационное поле, компьютерная технология «КОСКАД 3D», методы вероятностно-статистического подхода, корреляция, трассирование осей аномалий, тектонические дислокации, центральная область Вьетнама

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ / GEOPHYSICAL METHODS OF PROSPECTING AND EXPLORATION

Для цитирования: Фан Т.Х., Петров А.В., До М.Ф., Лай М.З., Нгуен Ч.Л. Особенности геологического строения центральной части Вьетнама по результатам интерпретационной обработки данных гравиразведки в компьютерной технологии «КОСКАД 3D». *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2020;63(5):77—90. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2020-63-5-77-90>

Статья поступила в редакцию 15.08.2020

Принята к публикации 20.05.2021

Опубликована 30.08.2021

* Автор, ответственный за переписку

GEOLOGICAL STRUCTURE OF CENTRAL VIETNAM BY INTERPRETATION PROCESSING OF GRAVITATIONAL SURVEY DATA USING THE “COSCAD 3D” COMPUTER TECHNOLOGY

HONG T. PHAN^{1,2,*}, ALEKSEY V. PETROV¹, PHUONG M. DO^{1,3}, GIAU M. LAI³, LUU T. NGUYEN³

¹ *Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting
23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia*

² *Hanoi University of Mining and Geology, Vietnam
18 Vien str., Duc Thang ward, Bac Tu Liem district, Hanoi, Vietnam*

³ *Geophysical Division, General Department of Geology and Minerals of Vietnam
1, Chien Thang str., Van Quan, Ha Dong, Hanoi, Vietnam*

ABSTRACT

Background. The central regions of Vietnam are of strategic importance for the Republic, being, in fact, the gateway to the ASEAN countries. Investing in the exploration and evaluation of mineral resources, in particular ore minerals hidden at great depths, is a specific and necessary task for the country.

Aim. To clarify the structural-tectonic scheme of the analysed area and to identify the main fault systems and zoning of the Central Vietnam area by the gravitational field based on classification algorithms.

Materials and methods. The objectives were achieved by assessing the total gradient of the gravitational field, analysing the distribution of the field variance and the results of tracing the axes of the gravitational field anomaly. Interpretation processing of gravity data was carried out using the “COSCAD 3D” computer technology of statistical and spectral correlation data analysis.

Results. The defined fault systems, which play an important role in the processes of mineral formation, have a northwestern, northeastern and latitudinal strike. The zoning of the study area according to the gravitational field, its characteristics and available geological information made it possible to identify 13 homogeneous areas. Each area is characterised by a certain level of gravitational field, the values of dispersion and total field gradient, as well as correlations between attributes. The classification results confirms the complexity of the geological structure of the area under study and the presence of three main strikes of the systems of tectonic dislocations – northwestern, northeastern and latitudinal.

Conclusions. A large number of tectonic dislocations of various strikes and intensities, revealed using the methods of the probabilistic-statistical approach, implemented in the “COSCAD 3D” computer technology, indicates that the area under study is promising in terms of ore deposits.

Keywords: gravitational field, “COSCAD 3D” computer technology, methods of probabilistic-statistical approach, correlation, tracing of anomaly axes, tectonic dislocations, Central Vietnam

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

Financial disclosure: no financial support was provided for this study.

For citation: Phan H.T., Petrov A.V., Do Ph.M., Lai G.M., Nguyen L.T. Geological structure of central Vietnam by interpretation processing of gravitational survey data using the "COSCAD 3D" computer technology. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2020;63(5):77—90. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2020-63-5-77-90>

Manuscript received 15 August 2020

Accepted 20 May 2021

Published 30 August 2021

* Corresponding author

Центральные районы Вьетнама имеют стратегическое значение для республики и, по существу, являются воротами в страны АСЕАН (рис. 1А). Поэтому инвестирование в разведку и оценку запасов минеральных ресурсов, особенно рудных полезных ископаемых, скрытых на больших глубинах, является конкретной и необходимой задачей для страны [13].

Район исследования характеризуется достаточно сложным рельефом с высокогорными хребтами ($H > 700$ м), в основном меридионального простирания, образующими множество узких долин бурных рек.

Геологическая обстановка характеризуется наличием развитой системы тектонических дислокаций, как глубинных, так и поверхностных, присутствием магматических образований, которые четко проявляются в геофизических полях.

Проведенные ранее геолого-геофизические исследования выявили много перспективных на полезные ископаемые областей (рис. 1Б) [14].

Тектоническая активность в регионе определяется столкновением Южно-Китайской и Индонезийской плит в период от позднего мезозоя до раннего кайнозоя [7, 12]. Для района характерна интрузивная магматическая активность в период от архея до кайнозоя, в результате которой сформировались блоковые геологические образования, сложенные породами от основного до кислого состава. Магматические тела широко распространены на площади исследований и имеют различные направления простирания. Наличие множественных систем разломов различного простирания, прорезающих единые структурные образования, сильно усложняет геологическое строение района.

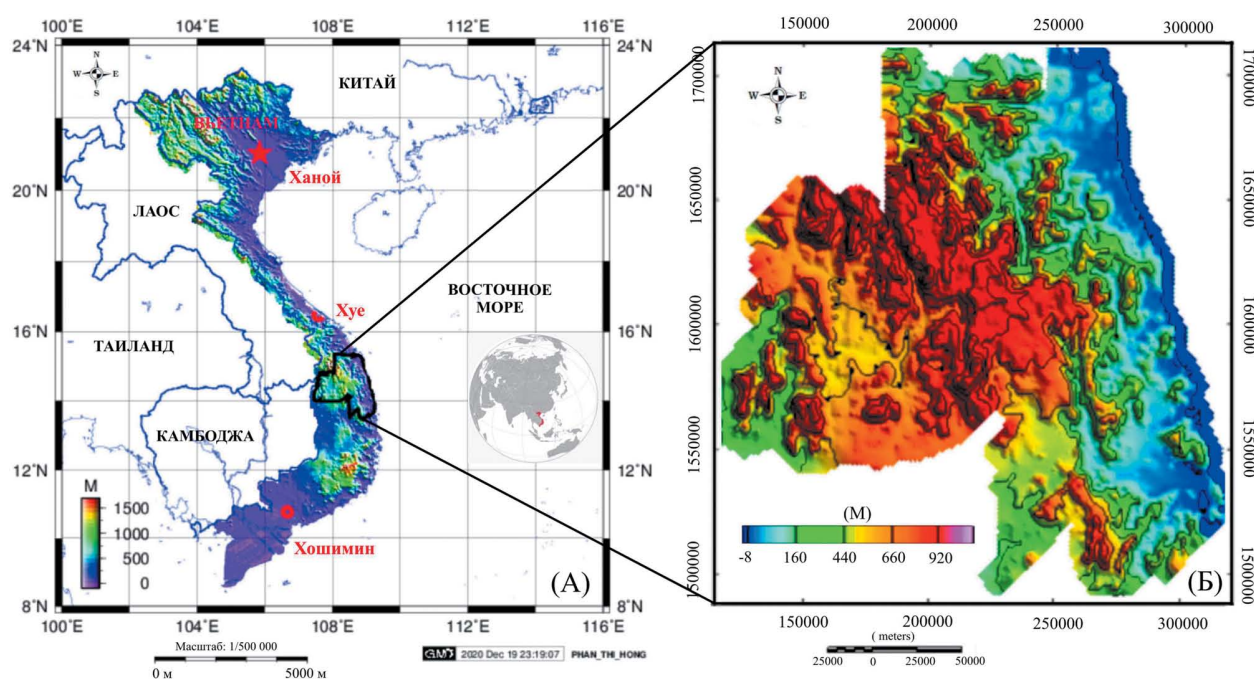


Рис. 1. А — положение района исследований в центральной части Вьетнама; Б — карта рельефа исследуемого района

Fig. 1. А — the location of the research area in the central part of Vietnam; Б — the relief map of the studied area

Тектоническая деятельность и сопутствующее развитие интрузивного комплекса на исследуемой территории привели к изменениям в осадочных образованиях, их разрушению, образованию складок, запуску процессов метаморфизации, формированию минерализованных зон, образованию эндогенных минеральных рудных тел, хаотично разбросанных по исследуемой территории.

Сложность геологического строения определяет сильную дифференциацию слагающих пород по значениям избыточной плотности, что, в свою очередь, делает перспективным применение гравиразведки для решения широкого спектра геологических задач. Однако в силу аддитивной модели аномального гравитационного поля, принимаемой в разведочной геофизике, наложения аномалий силы тяжести от различных геологических тел в земной коре, влияния случайных мешающих факторов процесс интерпретационной обработки наблюдаемого гравитационного поля является достаточно сложным и неоднозначным. Именно поэтому в данной работе использовалась компьютерная технология статистического и спектрально-корреляционного анализа данных «КОСКАД 3D», включающая широкий спектр алгоритмов, базирующихся на достижениях современной теории вероятностей и математической статистики, методах спектрально-корреляционного анализа, линейной оптимальной фильтрации и анализа многопризнаковой цифровой геолого-геофизической информации [10, 11, 15].

Используемый источник данных и методы

Источником данных, использованных в статье, являются результаты гравитационной съемки масштаба 1:100 000 — аномальное гравитационное поле в редукции Буге с плотностью промежуточного поля 2,67 г/см³ и учетом рельефа местности по L.N. Prisivanco [1, 4]. Точность оценки аномального гравитационного поля по всей площади исследования составила 0,1÷0,25 мГал [3, 5, 6].

Визуальный анализ аномального гравитационного поля позволяет выделить трендовую компоненту широтного простирания с увеличением значений гравитационного поля от –70 мГал на северо-западе до +15 мГал на юго-востоке (рис. 2А). Северо-западный участок характеризуется самыми низкими значениями аномального гравитационного поля со значениями от –70 до –50 мГал, что отчасти связано с рельефом местности. На востоке и юго-востоке значения аномального поля изменяются от –30

до +15 мГал и поле имеет меридиональное простирание.

В региональном плане в исходном поле выделяются несколько гетерогенных блоков со значениями поля, изменяющимися от –10 до +10 мГал, сконцентрированных в северной, центральной и южной областях исследуемой площади. В юго-восточной части отмечаются положительные аномальные зоны амплитудой от –45 до –30 мГал.

Аномальное наблюдаемое гравитационное поле в силу многих естественных причин носит случайный характер. Следовательно, для интерпретационной обработки гравитационного поля, помимо классических аналитических методов, возможно использование методов вероятностно-статистического подхода, реализованных в компьютерной технологии статистического и спектрально-корреляционного анализа данных «КОСКАД 3D» [2, 8, 9—11, 15]. Кратко рассмотрим существо основных алгоритмов, которые использовались в интерпретационной обработке данных гравиметрических наблюдений.

Оценка статистических характеристик гравитационного поля. Оценка дисперсии (энергии) гравитационного поля в скользящем окне [10, 11] рассчитывалась по формуле:

$$D = \sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2,$$

где X_{ij} — значение гравитационного поля на i -м пикете j -го профиля в окне; \bar{X} — среднее значение поля в скользящем окне.

При анализе поля дисперсии необходимо учитывать следующее:

- границы аномалий в поле дисперсии отражаются положительными значениями;

- аномалии простой формы в исходных данных в поле дисперсии представлены более дифференцированно;

- поле дисперсии в дальнейшем может быть включено в обработку на этапе анализа многопризнаковых данных с помощью алгоритмов распознавания образов и классификации.

Оценка градиентных характеристик гравитационного поля. Знание градиентных характеристик геофизических полей позволяет детализировать особенности поля и подчеркнуть положение границ аномальных объектов. При анализе градиентных характеристик площадных геолого-геофизических наблюдений обычно вычисляется градиент поля вдоль простирания профилей $\Delta x = \partial f / \partial x$, вкрест простирания профилей $\Delta y = \partial f / \partial y$,

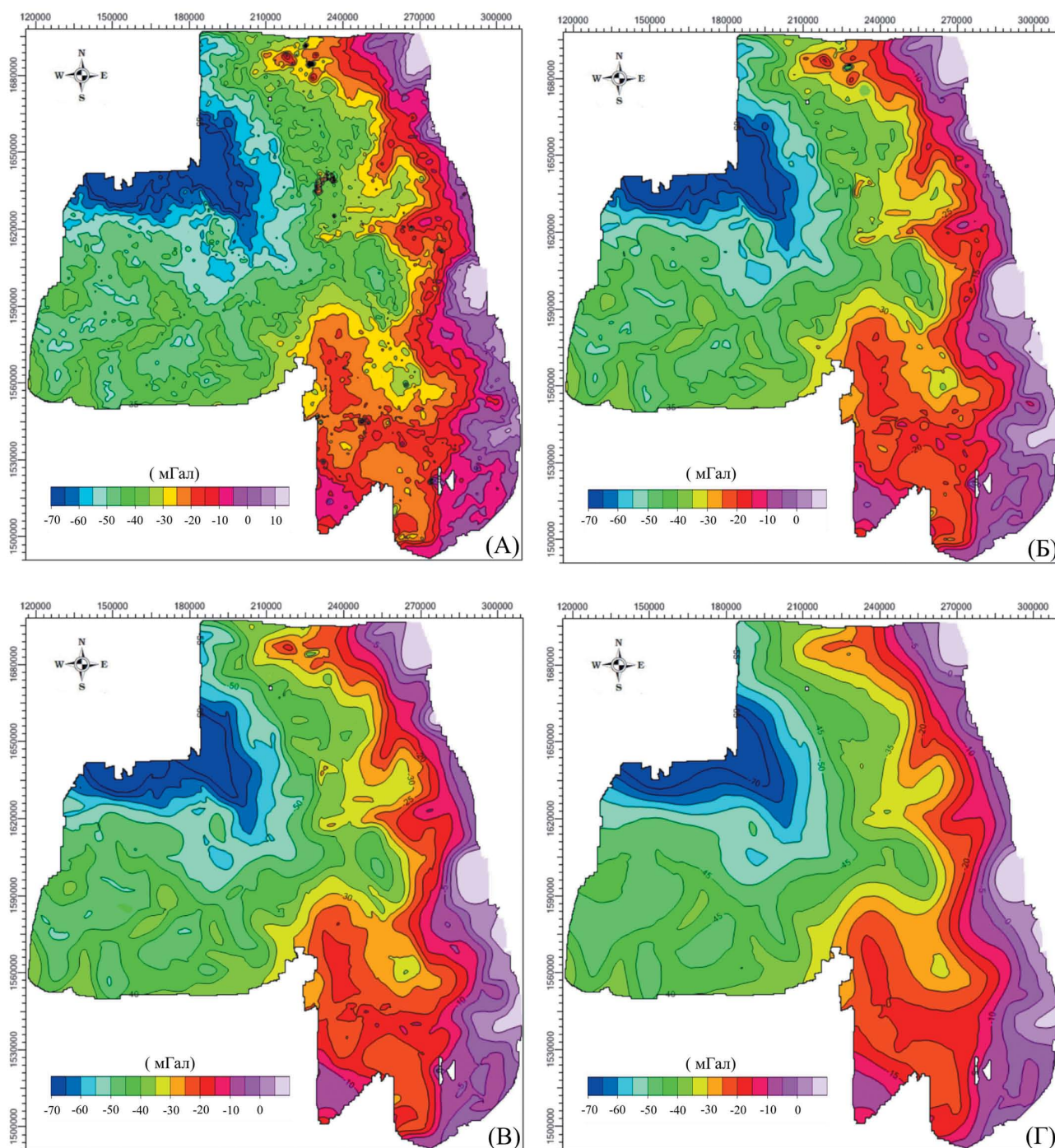


Рис. 2. Исходное аномальное гравитационное поле в редукции Буге центральной области Вьетнама в масштабе 1:100 000 на поверхности наблюдения (А) и на глубинах $H = 1050$ м (Б); $H = 2100$ м (В) и $H = 5250$ м (Г)

Fig. 2. The initial anomalous gravitational field in the Buge reduction of the central region of Vietnam on a scale of 1:100,000 on the observation surface (A) and at depths $H = 1050$ m (Б); $H = 2100$ m (В) and $H = 5250$ m (Г)

полный градиент $\Delta\chi_{xy} = \sqrt{(\partial f/\partial x)^2 + (\partial f/\partial y)^2}$ и его направление [10, 11].

Анализ градиентных характеристик гравитационного поля позволяет:

— подчеркнуть границы аномальных объектов, которые отмечаются экстремумами в полях градиентов вдоль осей и максимумами в поле полного градиента;

— выделить границы аномалий различных амплитуд, что позволяет при визуализации увидеть одновременно контуры всех аномалий;

— градиентные характеристики вдоль определенного направления позволяют подчеркнуть границы аномалий, простирающиеся перпендикулярно этому направлению.

Линейная оптимальная фильтрация аномального гравитационного поля. Тренд-анализ и фильтрация геофизических полей занимают важнейшее место в обработке геолого-геофизических данных. С помощью оптимальной фильтрации решается широкий спектр задач [2, 10, 11]:

— разложение геофизических полей на составляющие;

— восстановление аномалий, осложненных помехой;

— обнаружение слабоконтрастных аномалий.

Под фильтрацией понимается преобразование экспериментальных данных для выделения полезной информации, создаваемой сигналом (аномалией), на фоне различного типа помех, накладывающихся на сигнал и затрудняющих его выделение.

В данной работе используется фильтрация в окне «живой» формы. При этом фильтр настраивается на оценку наиболее энергоемких аномалий в окрестностях базового окна отдельной точки наблюдений. Практика использования алгоритмов адаптивной фильтрации показала их преимущества перед традиционными методами фильтрации во временной области, особенно при обработке нестационарных геофизических наблюдений.

Фильтрация позволяет выделить компоненты гравитационного поля разной частоты, которым соответствуют аномалиеобразующие объекты, расположенные на разных глубинах.

Методы классификации многопризнаковых наблюдений. Алгоритм, основан на проверке многомерных статистических гипотез [8—11], позволяющих наиболее полно использовать информацию о структуре взаимосвязей между свойствами различных геофизических полей и их атрибутами. Классификационные алгоритмы направлены на эффективное решение задачи разбиения анализируемой площади на однородные по нескольким признакам области.

Используемые алгоритмы построены на принципах самообучения, учета корреляционных связей всего признакового пространства и возможности корректной работы в условиях отсутствия априорной информации о начальных центрах классов и конечном числе однородных областей.

Результаты фильтрации аномального гравитационного поля. С целью оценки параметров локальных и региональных неоднородностей гравитационного поля на разных глубинах была проведена энергетическая фильтрация аномального гравитационного поля в окне «живой» формы. Результаты такой оценки для глубин 1050, 2100 и 5250 метров приведены на рисунках 2Б—Г.

На рисунке 2 видно, что значение аномального гравитационного поля уменьшается с глубиной. Большая локальная неоднородность в северной части центрального района и в южной части исследуемой площади на глубине $H = 5250$ м не проявляется. Это свидетельствует о том, что объекты, генерирующие эти локальные аномалии, расположены на небольших глубинах. Значения трендовой компоненты аномального гравитационного поля, увеличивающиеся в юго-западном направлении, отражают особенности глубинного строения изучаемой территории.

Результаты оценки полного градиента гравитационного поля. С целью определения положения и размеров системы тектонических дислокаций было рассчитано поле полного градиента аномального гравитационного поля на разных глубинах (рис. 3). Анализ результатов показывает, что значения полного градиента уменьшаются с глубиной. Так, поверхности значения полного градиента изменяются от 0,0055 (рис. 3А) до 0,003 мГал/м (рис. 3Б), а на глубине 5250 м (рис. 3Г) интервал изменения значений полного градиента лежит в диапазоне от 0,0001 до 0,0016 мГал/м.

Поле полного градиента аномального гравитационного поля наиболее дифференцировано на поверхности, что свидетельствует о наличии в верхней части разреза геологических объектов небольшого размера. Анализ особенностей поля полного градиента на глубине 5250 м позволяет разделить исследуемую площадь на две области — северо-восточную и юго-западную. Первая характеризуется повышенными значениями градиентных характеристик, для второй свойственны низкие значения полного градиента, что может быть связано с увеличением мощности осадочного чехла.

Результат оценки дисперсии (энергии) гравитационного поля в скользящем окне. Максимальные значения поля дисперсии (рис. 4), как и максимумы поля полного градиента, контролируют границы гравитационных аномалий разного простираения и размера. Характер поля дисперсии на разных глубинах совпадает

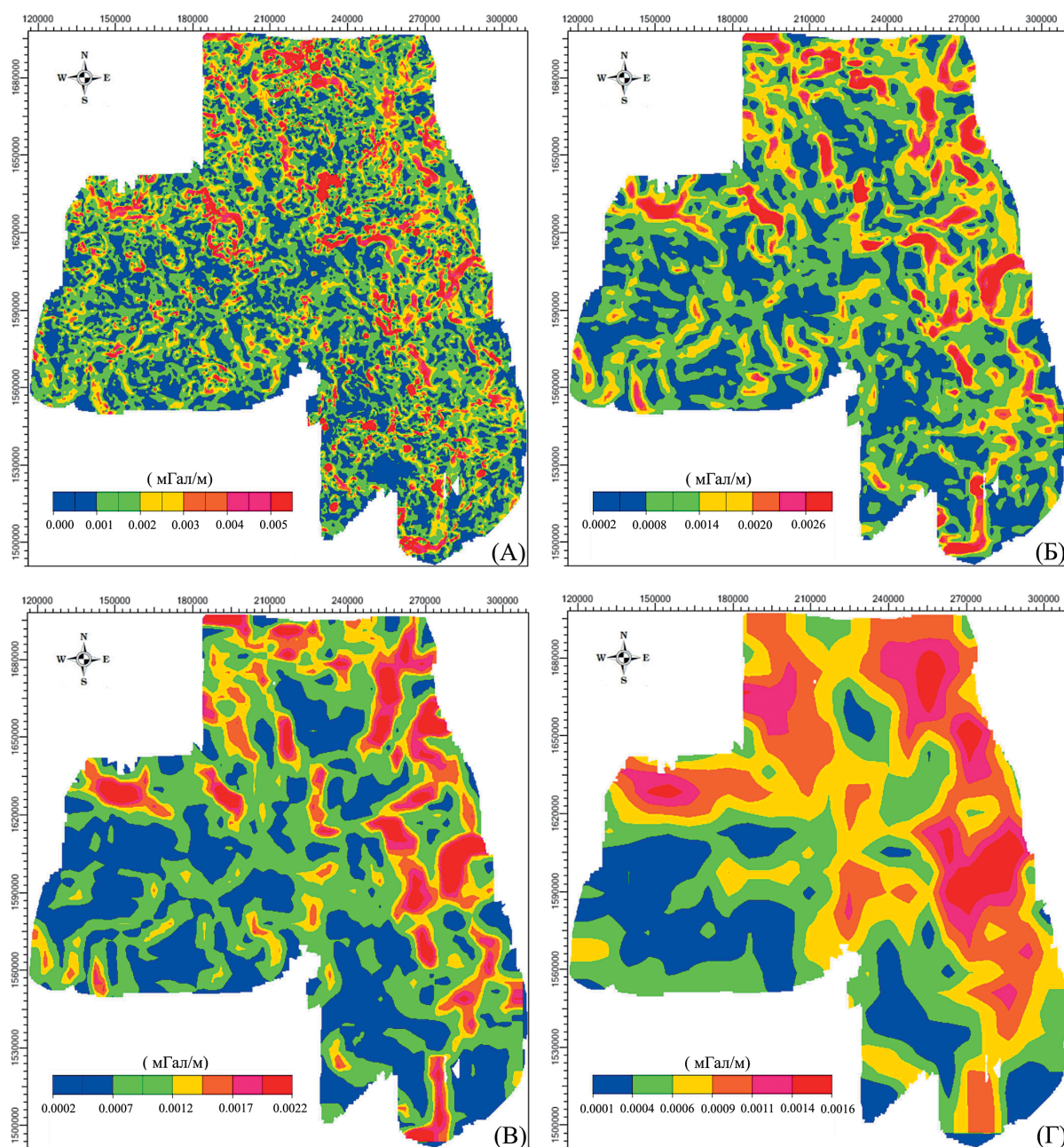


Рис. 3. Результаты оценки полного градиента гравитационного поля в центральной области Вьетнама на поверхности (А) и на глубинах $H = 1050$ м (Б), $H = 2100$ м (В), $H = 5250$ м (Г)

Fig. 3. Results of estimating the total gradient of the gravitational field in the central region of Vietnam at the surface (A) and at depths $H = 1050$ m (Б), $H = 2100$ m (В), $H = 5250$ m (Г)

с изменчивостью поля полного градиента. Это объясняется схожестью особенностей исходного поля, которые подчеркиваются в полях этих статистических атрибутов.

Полученные оценки полного градиента и поля дисперсии на разных глубинах хорошо согласуются и дополняют друг друга.

Результаты автоматического трассирования осей аномалий гравитационного поля и его составляющих. На рисунке 5 приведены результаты трассирования осей аномалий аномального гравитационного поля на разных глубинах на поверхности наблюдения (рис. 5А) и на глубинах $H = 1050$ м

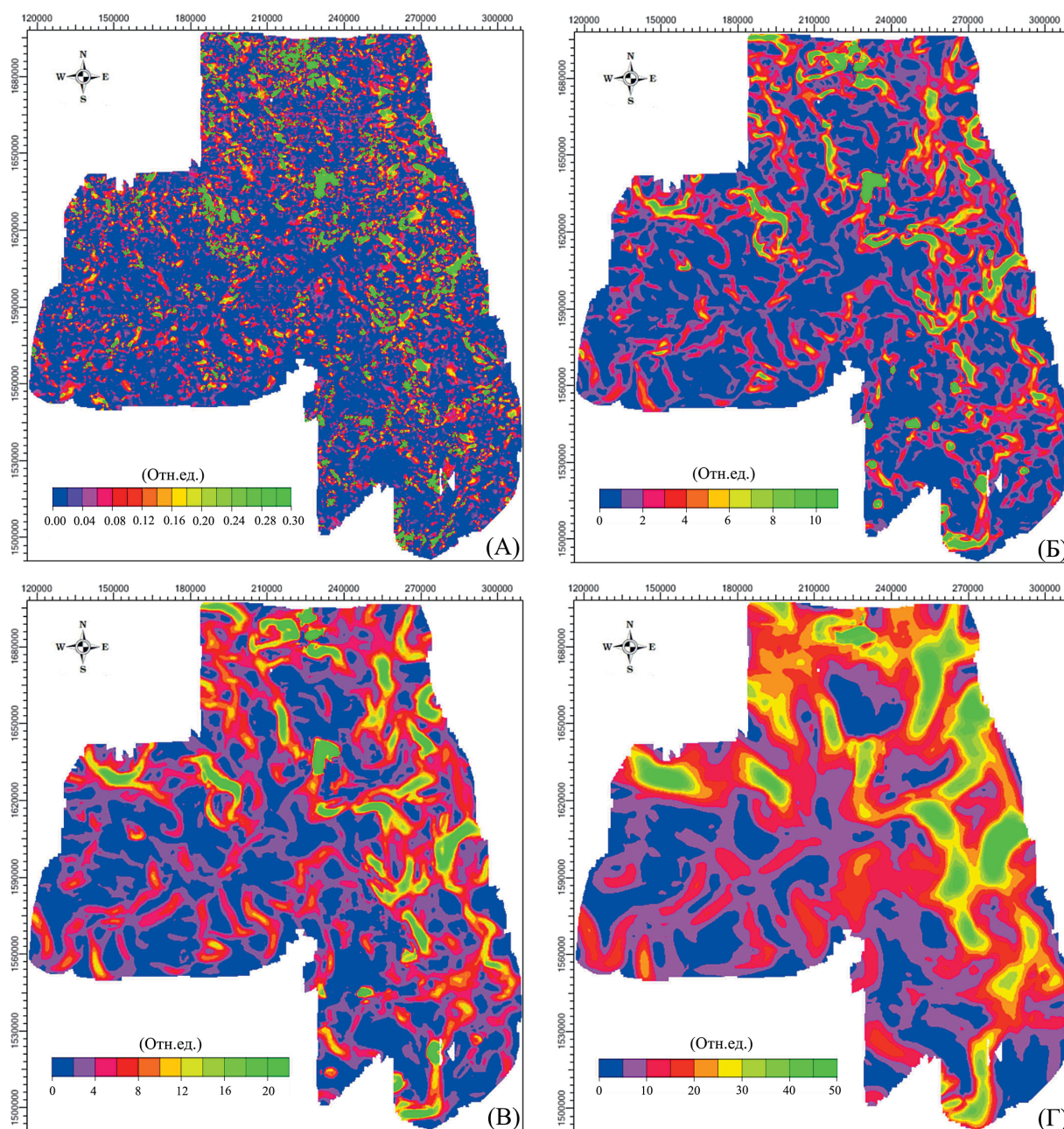


Рис. 4. Результаты оценки дисперсии (энергии) гравитационного поля в центральной области Вьетнама на поверхности наблюдений (А) и на глубинах $H = 1050$ м (Б), $H = 2100$ м (В) и $H = 5250$ м (Г)

Fig. 4. Results of estimating the dispersion (energy) of the gravitational field in the central region of Vietnam on the observation surface (A) and at depths $H = 1050$ m (B), $H = 2100$ m (B) and $H = 5250$ m (Г)

(рис. 5Б), $H = 2100$ м (рис. 5В) и $H = 5250$ м (рис. 5Г).

На рисунке надежно трассируются оси как отрицательных, так и положительных аномалий северо-западного, северо-восточного и широтного простирания. В северной и центральной части исследуемой площади отчетливо выделяются

кольцевые структуры. В результатах трассирования более дифференцированно и контрастно проявляются области развития тектонических дислокаций.

Особый интерес в результатах трассирования аномального гравитационного поля представляют места, где пересекаются оси аномалий разного

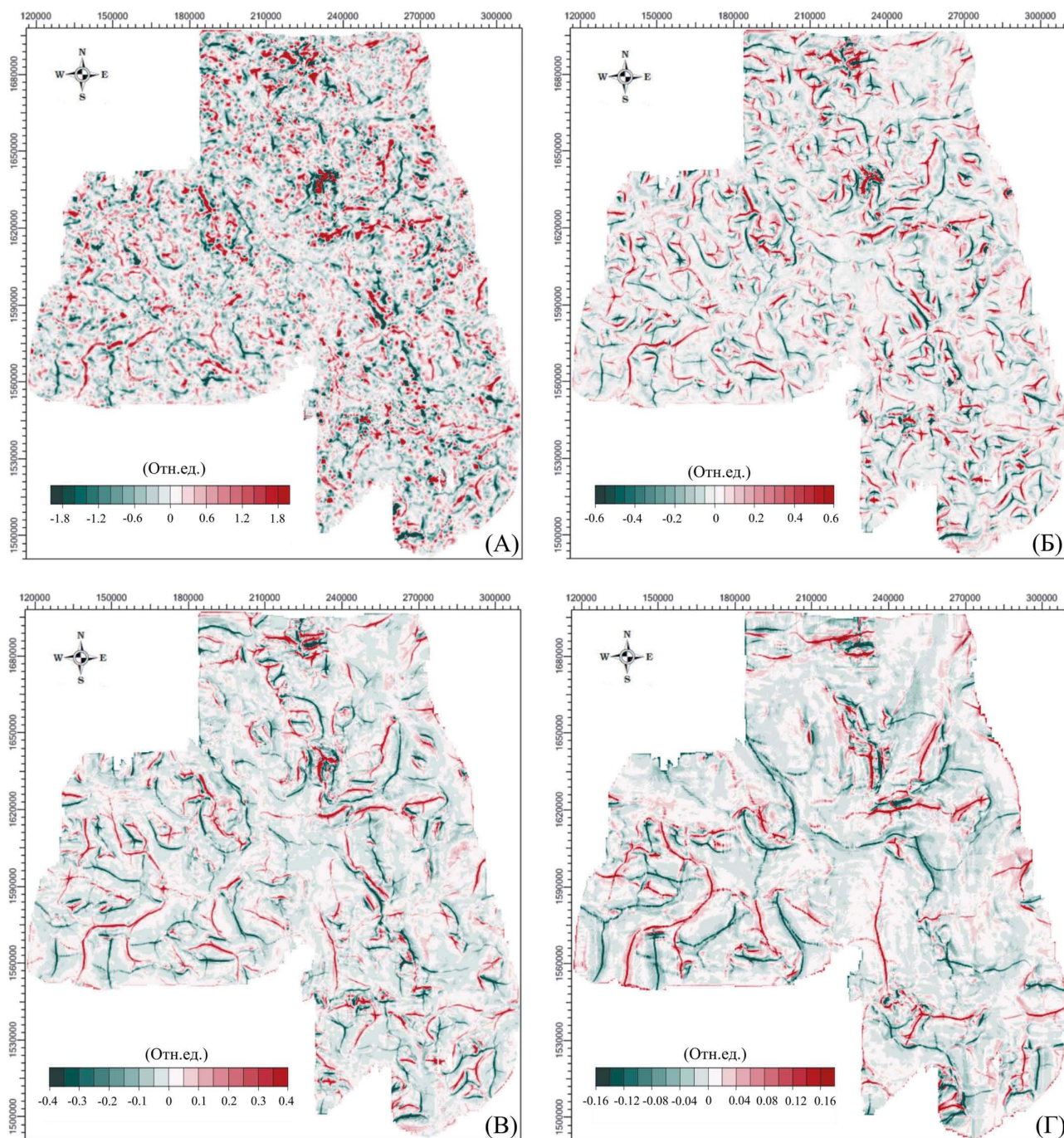


Рис. 5. Результаты трассирования осей аномалии гравитационного поля в центральной области Вьетнама на поверхности наблюдения (А) и на глубинах $H = 1050$ м (Б); $H = 2100$ м (В) и $H = 5250$ м (Г)

Fig. 5. Results of tracing the axes of the gravitational field anomaly in the central region of Vietnam on the observation surface (A) and at depths $H = 1050$ m (B); $H = 2100$ m (V) and $H = 5250$ m (Г)

простираения, образуя звездообразные структуры. Обычно такие структурные образования контролируют скрытые кольцевые структуры, которые часто связаны с проявлением дайкового магматизма.

Оценка результатов трассирования на разных глубинах проводилась с целью изучения динамики проявления тектонической активности во времени. Анализ результатов трассирования

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ / GEOPHYSICAL METHODS OF PROSPECTING AND EXPLORATION

на разных глубинах представляет интерес с учетом того, что большинство месторождений полезных ископаемых приурочено к областям тектонических нарушений.

Комплексный анализ поля полного градиента, дисперсии, аномального гравитационного поля (рис. 3, 4) и результатов трассирования осей гравитационных аномалий (рис. 5) на разных глубинах позволяет уточнить структурно-тектоническую карту исследуемой территории (рис. 6). Границы областей тектонических

дислокаций соответствуют максимальным значениям поля полного градиента, дисперсии и положительным результатам трассирования осей аномального гравитационного поля.

На рисунке 6 видно, что система тектонических нарушений имеет в основном северо-западное, север-восточное и широтное простирание. Выделенные системы разломов образуют границы структурного домена, отражающего тектоническую активность, являющуюся предпосылкой для образования рудных месторождений в регионе.

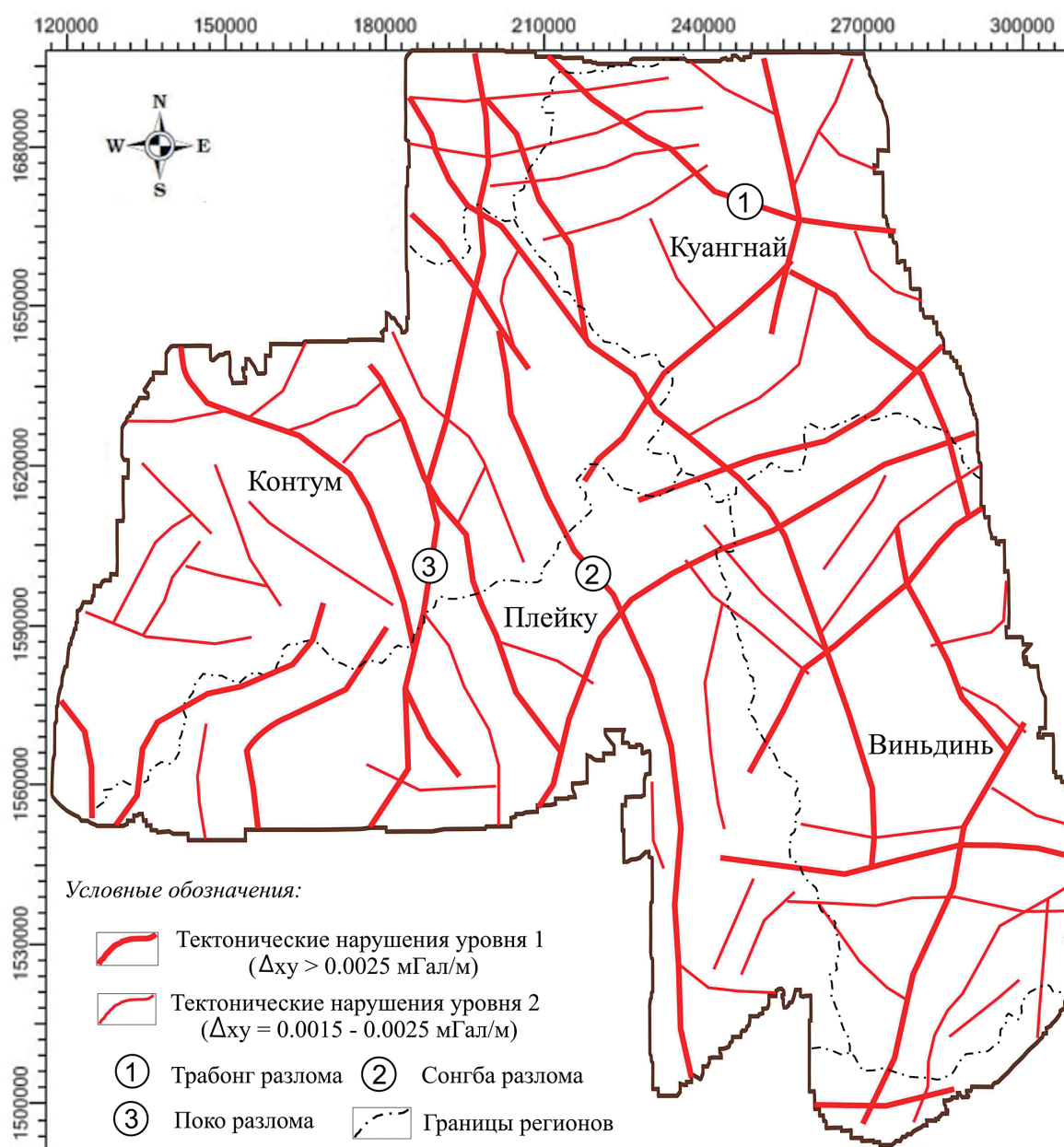


Рис. 6. Результат определения местоположения и размеров систем разломов в центральной части Вьетнама
Fig. 6. The result of determining the location and size of fault systems in the central part of Vietnam

Выявленные области тектонических дислокаций включают нарушения Трабонга, Пока и Сонгбы, местоположение и направление развития которых полностью совпадают с результатами геологического анализа [7, 12].

Полученные результаты показывают, что предлагаемая методология интерпретационной обработки данных гравиметрии полностью согласуется с результатами предшествующих геологических исследований и дополняет их.

Результат районирования территории центральной области Вьетнама по гравитационному полю и его атрибутам. Результат классификации на однородные области по исходному аномальному гравитационному полю (рис. 2А), результатам оценки поля полного градиентного (рис. 3А) и геологического опробования [5, 6] с использованием алгоритма разделения многомерных нормальных смесей (по А.В. Петрову) приведен на рисунке 7. Границы 13 однородных

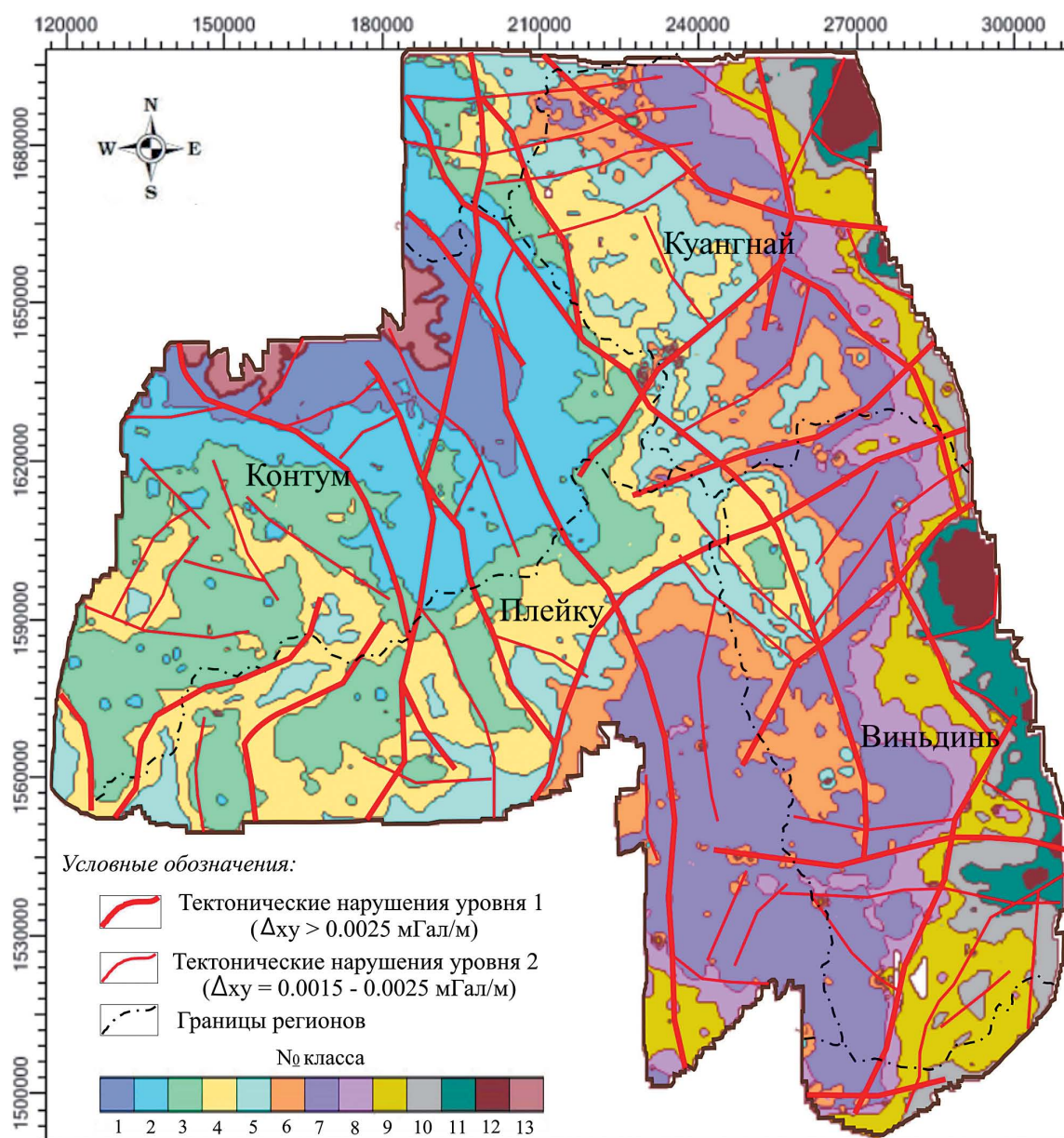


Рис. 7. Результат районирования в центральной части Вьетнама по гравитационному полю, его полному градиенту и результатам геологического опробования

Fig. 7. The result of zoning in the central part of Vietnam according to the gravitational field, its full gradient and the results of geological testing

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ / GEOPHYSICAL METHODS OF PROSPECTING AND EXPLORATION

по комплексу признаков областей позволяют повысить достоверность конечных результатов о геологическом строении района исследований.

Анализ результатов классификации подтверждает сложность геологического строения района исследований и наличие трех основных простирающихся систем тектонических нарушений: северо-западного, северо-восточного и широтного.

Заключение

Интерпретационная обработка данных гравиразведки по центральному региону Вьетнама с использованием компьютерной технологии «КОСКАД 3D» позволяет:

- выделить тектонические нарушения и дислокации по гравитационному полю;
- уточнить положение тектонических нарушений с целью объяснения процесса формирования эндогенных продуктивных отложений;
- подтвердить основные направления тектонических дислокаций северо-западного, северо-восточного и широтного простираения;

— связать расположение основных областей тектонических дислокаций с положением скрытых рудных образований;

— провести районирование территории по гравитационному полю и его атрибутам на 13 однородных областей, уточняющих достоверность имеющихся геологических карт.

Большое количество выявленных с помощью методов вероятностно-статистического подхода, реализованных в компьютерной технологии «КОСКАД 3D», областей тектонических дислокаций различного простираения и интенсивности свидетельствует о перспективности исследуемой территории на предмет поиска рудных месторождений.

Полученные результаты интерпретационной обработки данных гравиразведки с использованием компьютерной технологии статистического и спектрально-корреляционного анализа данных «КОСКАД 3D» свидетельствуют о высокой эффективности функционального наполнения компьютерной технологии и надежности получаемых с ее помощью результатов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Блейк П. Д. Теория потенциала в гравитации и магнитном приложении. Издательство Кембриджского университета. 1996. 441 с.
2. Керимов И.А., Петров А.В., Абубакарова Э.А. Применение программного комплекса «КОСКАД 3D» для анализа потенциальных полей Терско-Каспийского прогиба // Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Естественные и точные науки. 2018. Т. 12. № 3. С. 88—96. <https://doi.org/10.31161/1995-0675-2018-12-3-88-96>
3. Министерство природных ресурсов и экологии. Циркуляр № 05/2011 / ТТ-ВТНМТ от 29 января 2011 года. В кн.: Создание технического регламента для метода гравитации на земле. Ханой, 2011. 150 с. (на вьетнамском)
4. Мудрецова Е.А. Гравиразведка. Справочник геофизика. М.: Недра, 1981. 396 с.
5. Нгуен Ч.Л. и др. Измерение полета по гамма-спектру в масштабе 1:50 000 и измерение гравитационного поля в масштабе 1:100 000 в Центральном Вьетнаме. Федерация физики и геологии. Главное управление геологии и минералов Вьетнама, 2000. 250 с. (на вьетнамском)
6. Нгуен Х.С. и др. Проект проекции измерения магнитно-гамма-спектра в масштабе 1:50 000 и измерения силы тяжести в масштабе 1:100 000 в районе Кон-Тум. Федерация геофизики. Главное управление геологии и минералов Вьетнама, 2000. 150 с. (на вьетнамском)
7. Нгуен М.К. и др. Кембрийский внутриокеанский дуговой трондхемит и тоналит в зоне Шва Там-Ки-Фуок, Центральный Вьетнам: последствия для раннепалеозойской сборки блока Индокитая // Gondwana Research 2019. № 70. С. 151—170.
8. Никитин Д.С., Горских П.П., Хуторской М.Д., Иванов Д.А. Анализ и численное моделирование потенциальных полей на северо-востоке Баренцева моря // Науки о Земле. 2017. № 1(30). С. 6—15.
9. Никитин Д.С., Иванов Д.А. Комплексное структурно-тектоническое районирование северо-восточной части Баренцевоморского шельфа // Георесурсы. 2018. Т. 20. № 4. Ч. 2. С. 404—412.
10. Никитин А.А., Петров А.В. Теоретические основы обработки геофизической информации. Учебное пособие. М., 2017. 127 с.
11. Петров А.В., Юдин Д.Б., Соели Хоу. Обработка и интерпретация геофизических данных методами вероятностно-статистического подхода с использованием компьютерной технологии «КОСКАД 3D» // Вестник Краунц. Науки о Земле. 2010. № 2. С. 126—132.
12. Hai Thanh Tran, et al. The Tam Ky-Phuoc Son shear zone in central Vietnam: Tectonic and metallogenic implications // Gondwana Research. 2014. No 26. P. 144—164.
13. <https://baotainguyenmoitruong.vn/danh-gia-tiem-nang-khoang-san-vung-trung-trung-bo-292381.html>
14. https://topex.ucsd.edu/cgi-bin/get_data.cgi
15. <http://www.coscad3d.ru/index.php>

REFERENCES

1. Blakely R.J. Potential theory in gravity and magnetic application. Cambridge University Press, 1996. 441 p.
2. Kerimov I.A., Petrov A.V., Abubakarova E.A. The Use of Software Complex "Koskad 3D" to Analyze Potential Fields of Terek-Caspian Arch. Dagestan State Pedagogical University. Journal. Natural and Exact Sciences. 2018. Vol. 12. No. 3. P. 88—96. <https://doi.org/10.31161/1995-0675-2018-12-3-88-96> (In Russian).
3. Ministry of Natural Resources and Environment, No 05/2011 / TT-BTNMT dated January 29, 2011. For: Technical regulation on ground gravity exploration method. Hanoi, 2011. 150 p. (In Vietnam).
4. Mudretsova E.A. Gravity prospecting. Geophysicist. Moscow: Nedra, 1981. 396 p. (In Russian).
5. Nguyen Truong Luu, et al. Scheme of the flight measuring gamma spectrum scale of 1:50 000 and gravity measurement scale of 1:100 000 in central Vietnam. Federation of Geophysics, General Department of Geology and Minerals of Vietnam, 2000. 250 p. (In Vietnam).
6. Nguyen Xuan Son, et al. Scheme of the flight measuring magnetic — gamma spectrum scale of 1:50 000 and gravity measurement scale of 1:100 000 in Kon Tum area. Federation of Geophysics, General Department of Geology and Minerals of Vietnam, 2000. 150 p. (In Vietnam).
7. Quyen Minh Nguyen, et al. Cambrian intra-oceanic arc trondhjemitic and tonalite in the Tam Ky — Phuoc Son Suture zone, central Vietnam: Implications for the early Paleozoic assembly of the Indochina block // Gondwana Research. 2019. No 70. P. 151—170.
8. Nikitin D.S., Gorsikh P.P., Khutorskoy M.D., Ivanov D.A. Analysis and numerical modeling of potential fields in the North-East of the Barents Sea // Earth Sciences. 2017. No 1(30). P. 6—15 (In Russian).
9. Nikitin. D.S., Ivanov D.A. Complex structural and tectonic zoning of the North-Eastern part of the Barents Sea shelf // Georesursy, 2018. T. 20. No 4. Part 2, 2018. P. 404—412 (In Russian).
10. Nikitin A.A., Petrov A.V. Theoretical foundations of geophysical information processing. Tutorial. Moscow, 2017. 127 p. (In Russian).
11. Petrov A.V., Yudin D.B., Soeli Hou. Processing and interpretation of geophysical data by methods of a probabilistic-statistical approach using computer technology "COSCAD-3D" // Bulletin Kraunts. Earth sciences. 2010. No 2. P. 126—132 (In Russian).
12. Hai Thanh Tran, et al. The Tam Ky-Phuoc Son shear zone in central Vietnam: Tectonic and metallogenic implications // Gondwana Research. 2014. No 26. P. 144—164.
13. <https://baotainguyenmoitruong.vn/danh-gia-tiem-nang-khoang-san-vung-trung-trung-bo-292381.html>
14. https://topex.ucsd.edu/cgi-bin/get_data.cgi
15. <http://www.coscad3d.ru/index.php>

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Фан Т.Х. — внесла основной вклад в разработку концепции статьи, окончательно утвердила публикуемую версию статьи и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Петров А.В. — внес основной вклад в разработку концепции статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

До М.Ф. — присоединился к подготовке текста и графических материалов статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Лай М. Зяу — присоединился к подготовке текста статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Нгуен Ч.Л. — присоединился к подготовке текста статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Phan Thi Hong — made the main contribution to the development of the concept of the article, finally approved the published version of the article and agreed to take responsibility for all aspects of the work.

Alexey V. Petrov — made the main contribution to the development of the concept of the article, finally approved the published version of the article and agreed to take responsibility for all aspects of the work.

Do Minh Phuong — joined the preparation of the text and graphic materials of the article and agrees to take responsibility for all aspects of the work.

Lai Man Zau — joined the preparation of the text of the article and agrees to take responsibility for all aspects of the work.

Nguyen Truong Luu — joined the preparation of the text of the article and agrees to take responsibility for all aspects of the work.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Фан Тхи Хонг* — аспирантка факультета геологии и геофизики нефти и газа ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе»; исследователь Ханойского горно-геологического университета Вьетнама.

23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия;
18, Фо Виен, Дыктханг, Бактылем, г. Ханой, Вьетнам

e-mail: phanthihong@humg.edu.vn

тел.: +7 (903) 719-77-60

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1870-3620>

Phan Thi Hong* — PhD Student, Faculty of Geology and Geophysics of Oil and Gas, Sergo Ordzhonikidze Russian State Geological Exploration University. Researcher of Hanoi University of Mining and Geology, Vietnam.

23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia
18 Vien str., Duc Thang ward, Bac Tu Liem district, Hanoi, Vietnam

e-mail: phanthihong@humg.edu.vn

tel.: +7 (903) 719-77-60

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1870-3620>

Петров Алексей Владимирович — доктор физико-математических наук, профессор факультета геологии и геофизики нефти и газа ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе».

23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия

e-mail: petrovstud@mail.ru

тел.: +7 (916) 604-55-01

SPIN-код: 6200-2084

Alexey V. Petrov — Dr. of Sci. (Phys. and Math.), Prof., Faculty of Geology and Geophysics of Oil and Gas, Sergo Ordzhonikidze Russian State Geological Exploration University.

23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia

e-mail: petrovstud@mail.ru

tel.: +7 (916) 604-55-01

SPIN-code: 6200-2084

До Минь Фыонг — аспирант геологоразведочного факультета ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе»; исследователь, глава Геофизической федерации Главного управления геологии и полезных ископаемых Вьетнама.

23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия;

1, Чиентханг, Ванкуан, Хадонг, г. Ханой, Вьетнам

e-mail: dominhphuong.dkt@gmail.com

тел.: +7 (905) 727-96-78

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8818-8815>

Do Minh Phuong — Postgraduate Student, Geological Exploration Faculty, Sergo Ordzhonikidze Russian State Geological Exploration University. Researcher of General Department of Geology and Minerals of Vietnam.

23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia;

1, Chien Thang str., Van Quan, Ha Dong, Hanoi, Vietnam

e-mail: dominhphuong.dkt@gmail.com

tel.: +7 (905) 727-96-78

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8818-8815>

Лай Мань Зяу — доктор геофизических наук, глава Геофизической федерации Главного управления геологии и полезных ископаемых Вьетнама.

1, Чиентханг, Ванкуан, Хадонг, г. Ханой, Вьетнам

e-mail: giau.laimanh@gmail.com

Lai Manh Giau — Dr. of Sci. (Geoph.), Head of the Federation of the Geophysical Federation, General Directorate of Geology and Minerals of Vietnam.

1, Chien Thang str., Van Quan, Ha Dong, Hanoi, Vietnam

e-mail: giau.laimanh@gmail.com

Нгуен Чыонг Луу — доктор геофизических наук, заместитель главы Геофизической федерации Главного управления геологии Вьетнама.

1, Чиентханг, Ванкуан, Хадонг, г. Ханой, Вьетнам

e-mail: ntluudvl23@gmail.com

Nguyen Truong Luu — Dr. of Sci. (Geoph.), Deputy of the Federation of the Geophysical Federation, General Directorate of Geology of Vietnam.

1, Chien Thang str., Van Quan, Ha Dong, Hanoi, Vietnam

e-mail: ntluudvl23@gmail.com

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author