

## ОБЩАЯ И РЕГИОНАЛЬНАЯ ГЕОЛОГИЯ

УДК 550.8:553.078:553.41

DOI: [10.46698/VNC.2021.23.67.003](https://doi.org/10.46698/VNC.2021.23.67.003)

Оригинальная статья

## Опыт разделения потенциальных полей Донбасса на фоновую, остаточную и локальную составляющие и некоторые результаты интерпретации

Д. Б. Давыденко<sup>1</sup>, С. Г. Парада<sup>1, 2</sup>

<sup>1</sup>ФГБУН ФИЦ «Южный научный центр РАН», Россия, 344006, г. Ростов-на-Дону, пр. Чехова, 41, e-mail: [segripa@rambler.ru](mailto:segripa@rambler.ru)

<sup>2</sup>Геофизический институт Владикавказского научного центра Российской академии наук, Россия, 362002, РСО-Алания, г. Владикавказ, ул. Маркова, 93а

Статья поступила: 29.01.2021, после рецензирования: 22.02.2021, принята к публикации: 03.03.2021

**Резюме:** Статья посвящена определению оптимальных процедур обработки и разделения потенциальных полей на фоновую, остаточную и локальную составляющие, а также обсуждению некоторых результатов. **Актуальность работы** определяется необходимостью разработки геофизической основы для минерагенического анализа системы Донецкого складчатого сооружения. **Цель исследования.** Выбор оптимальных процедур обработки геофизических данных и разделение потенциальных полей на фоновую, остаточную и локальную составляющие, оценка возможности использования полученных результатов для минерагенического анализа Донецкого складчатого сооружения. **Методы исследования.** Исходными материалами для исследования послужили результаты аэросъемочных работ в цифровом формате, проведенных в 2011 году компанией «Аэрогеофизика» с использованием современных высокоточных приборов. А для приграничной полосы с Украиной – материалы аналоговых аэрогеофизических съемок, проведенных до 2000 г. Подразделение исходных полей на составляющие компоненты проведено с использованием методов математического преобразования исходных данных с использованием отечественного программного комплекса ГИС Интегро. Оценка информативности преобразования комплекса исходных данных решалась с привлечением технологии статистического зондирования геополей COSCAD 3D, а также технологии решения обратной задачи гравиразведки и магниторазведки. **Результаты исследования.** Разработана технология, обеспечивающая составление сводных карт потенциальных полей с использованием материалов разновысотных аэросъемок на основе отечественной геоинформационной системы ГИС Интегро. Установлены оптимальные процедуры и осуществлено подразделение исходных магнитного и гравитационного полей на региональную, остаточную и локальную компоненты. При выделении локальной составляющей аномалий магнитного поля впервые для исследуемого района выделены и прослежены протяженные зоны слабоинтенсивных положительных магнитных аномалий. Установлено, что эти аномалии связаны с разломами, приуроченными к осевым плоскостям линейных антиклиналей и отражают увеличение намагниченности горных пород в связи с гидротермально-метасоматическими преобразованиями. Распространение выявленных ранее золоторудных проявлений в существенной мере контролируется вновь обнаруженными зонами слабоинтенсивных магнитных аномалий. Это позволяет придать высокую значимость выделяемых линейных аномальных зон как критериев для решения задач минерагенического районирования.

**Ключевые слова:** Донбасс, потенциальные поля, трансформации, геофизические аномалии, карты магнитных аномалий, карты гравиметрических аномалий, минерагения.

**Для цитирования:** Давыденко Д. Б., Парада С. Г. Опыт разделения потенциальных полей Донбасса на фоновую, остаточную и локальную составляющие и некоторые результаты интерпретации. *Геология и геофизика Юга России*. 2021. 11 (1): 22 – 37. DOI: 10.46698/VNC. 2021.23.67.003.

**Благодарности:** Работа выполнена в рамках реализации государственного задания ЮНЦ РАН, № гос. регистрации проекта АААА-А19-119011190181-1.

---

---

GENERAL AND REGIONAL GEOLOGY

---

---

DOI: [10.46698/VNC. 2021.23.67.003](https://doi.org/10.46698/VNC.2021.23.67.003)

Original paper

## The experience of dividing the potential fields of Donbass into background, residual and local components and some results of interpretation

D. B. Davydenko<sup>1</sup>, S. G. Parada<sup>1, 2</sup>

<sup>1</sup>Southern Scientific Center, Russian Academy of Sciences, 41 Chekhov Ave., Rostov-on-Don 344006, Russian Federation, e-mail: segripa@rambler. ru

<sup>2</sup>Geophysical Institute, Vladikavkaz Scientific Centre, Russian Academy of Sciences, 93a Markova Str., Vladikavkaz 362002, Russian Federation

Received: 29.01.2021, revised: 22.02.2021, accepted: 03.03.2021

**Abstract:** The article is devoted to determining the optimal procedures for processing and dividing potential fields into background, residual, and local components, as well as discussing some of the results. **The relevance of the work** is determined by the need to develop a geophysical basis for the mineralogical analysis of the Donetsk folded structure system. **Aim.** To select the optimal procedures for processing geophysical data and to divide potential fields into background, residual and local components, to evaluate the possibility of using the results obtained for mineragenic analysis of the Donetsk folded structure. **Methods.** The initial materials for the study were the results of aerial surveys in digital format conducted in 2011 by the company “Aerogeofizika” using modern high-precision instruments. And for the border strip with Ukraine – the materials of analog aerogeophysical surveys conducted before 2000. The division of the source fields into components was carried out using the methods of mathematical transformation of the source data using the domestic GIS Integro software package. The evaluation of the informativeness of the transformation of the source data complex was solved using the COSCAD 3D statistical sounding of geofields, as well as the technology for solving the inverse problem of gravity and magnetic exploration. **Results.** A technology has been developed that provides the compilation of summary maps of potential fields using materials from different-altitude aerial surveys based on the domestic GIS Integro geoinformation system. Optimal procedures were established and the initial magnetic and gravitational fields were divided into regional, residual, and local components. When identifying the local component of magnetic field anomalies, extended zones of low-intensity positive magnetic anomalies were identified and traced for the first time in the study area. It is established that these anomalies are associated with faults confined to the axial planes of linear anticlines and reflect an increase in the magnetization of rocks due to hydrothermal-metasomatic transformations. The spread of previously identified gold-ore manifestations is significantly controlled by newly discovered zones of low-intensity magnetic anomalies. This makes it possible to attach high importance to the identified linear anomalous zones as criteria for solving problems of mineragenic zoning.

**Keywords:** Donbass, potential fields, transformations, geophysical anomalies, maps of magnetic anomalies, maps of gravimetric anomalies, minerageny.

**For citation:** Davydenko D. B., Parada S. G. Experience of Dividing Potential Fields of Donbass into Background, Residual and Local Components and some Results of Interpretation. *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South*. (in Russ.). 2021. 11 (1): 22 – 37. DOI: 10.46698/VNC. 2021.23.67.003.

**Acknowledgements:** *The work was carried out as part of the implementation of the state task of the UNC RAS, state registration number of the project AAAA-A19-119011190181-1.*

## Введение

При минерагенических исследованиях все большее значение приобретают геофизические методы. Они позволяют уточнять особенности глубинного строения, магматизма и складчато-разрывной тектоники рудоносных районов. Однако интерпретация геофизических данных часто вызывает затруднения, поскольку наблюдаемые потенциальные поля представляют собой сложную сумму полей, созданных различными геологическими объектами, расположенными на разных глубинах. В общих чертах можно полагать, что наиболее глубинные объекты связанные, в основном, с глубокими горизонтами фундамента, создают региональную составляющую потенциальных полей. Комплекс геологических неоднородностей в составе осадочной толщи и верхних горизонтов фундамента можно рассматривать как среднеглубинные аномалиеобразующие объекты. Геолого-геофизические неоднородности приповерхностных горизонтов литосферы соответствуют третьему (верхнему) уровню, и создают локальные аномалии. Поэтому разделение потенциальных полей на региональную, остаточную и локальную составляющие необходимо для более точной геологической интерпретации.

Донбасс (Донецкий угольный бассейн) в тектоническом отношении представляет собой Донецкое поднятие. Само поднятие является частью Припятско-Днепровско-Донецкого авлакогена, который пересекает южную часть Восточно-Европейской платформы с северо-запада на юго-восток более чем на 2000 км при ширине 70-120 км, разделяя Белорусскую, Украинскую и Воронежскую антеклизы. В продольном сечении он сегментирован на прогибы-впадины – Припятский прогиб и собственно Днепровско-Донецкую впадину, разделенные Брагинско-Лоевской седловиной, а также Донецкое поднятие с погребенным продолжением кряжа Карпинского [Lobkovsky et al., 2011; Левин и др., 2011; Bush, 2014; Агеев и др., 2015].

В данном исследовании нами рассматривается Донецкое поднятие (складчатое сооружение) как центральная часть авлакогена, наиболее перспективная на проявления цветных металлов и золота [Парада, 2017; Трощенко, 2019; Давыденко и др., 2019].

Центральная часть Донецкого складчатого сооружения (Донбасса) представляет собой грабен, выполненный в основном отложениями древнее карбона, вероятно вплоть до рифея, которые на бортах прогиба не имеют широкого распространения. Наиболее крупные разрывы – так называемые краевые надвиги Донбасса – Северо-Донецкий на севере, и Персиановский на юге. Эти разрывы, ограничивающие область наибольших мощностей отложений в прогибе, имеют глубинный характер, установленный на территории украинской части Донбасса по сейсмическим данным [Maustrenko et al., 2003; Гринь, 2020]. Южная граница прогиба проходит по Манычскому разлому, над которым, кроме того, развивается система Манычских мезозойско-кайнозойских грабенов.

В пределах исследуемой территории выявлены рудопроявления и пункты золоторудной минерализации. К ним относятся Керчикское, Барило-Крепинское, Галутинское, Чернореченское и др. рудопроявления золота. На Керчикском рудопроявлении подсчитаны прогнозные ресурсы золота в количестве, соответствующем крупному месторождению, положительно оценены обогатимость руд и возможность их рентабельной добычи.

В основу тектонического районирования Донецкого бассейна положены особенности складчато-разрывных дислокаций герцинского структурного этажа (рис. 1).



Рис. 1. Тектоническое районирование Донецкого складчатого сооружения с отображением наиболее крупных разломов и складок:

1 – границы тектонических структур первого порядка, в том числе с севера на юг: Воронежская антеклиза, Доно-Днепровский палеозойский прогиб, Украинский щит; 2 – границы тектонических районов, в том числе Донецкое складчатое сооружение (1) и Южно-Донбасская складчато-блоковая моноклинал (2); 3 – границы тектонических зон: 1.1 – Центральная зона крупных линейных складок, 1.2 – Восточная зона мелких линейных складок, 1.3 – Северная линейная антиклинальная зона мелких складок, 1.4 – обособленные брахисинклинали (Луганско-Краснодонская, Белокалитвенская, Краснодонская, Жирновская), 1.5 – Северная межнадвиговая зона пологих складок, 1.6 – Южный грабен; 5 – оси антиклиналей; 6 – оси синклиналей; 7 – соляные купола; 8 – государственная граница. Линии сейсмических профилей DOBRE и Морозовск-Каменская /

Fig. 1. Tectonic zoning of the Donets folded structure with the display of the largest faults and folds  
1 – boundaries of first-order tectonic structures, including from north to south: the Voronezh anticline, the Don-Dnieper Paleozoic trough, the Ukrainian shield; 2 – boundaries of tectonic regions, including the Donets fold structure (1) and the South Donbass fold-block monocline (2); 3 – tectonic zone boundaries: 1.1 – Central zone of large linear folds, 1.2 – Eastern zone of small linear folds, 1.3 – Northern linear anticline zone of small folds, 1.4 – isolated brachysynclines (Luhansk-Krasnodon, Belokalitvenskaya, Krasnodonetskaya, Zhirnovskaya), 1.5 – Northern inter-thrust zone of shallow folds, 1.6 – Southern graben; 5 – axes of anticlines; 6 – axes of synclines; 7 – salt domes; 8 – state border. DOBRE and Morozovsk-Kamenskaya seismic profile lines

В складчатом Донбассе выделяются две наиболее крупные пликативные структуры – Сулино-Садкинская и Шахтинско-Несветаевская синклинали, разделенные Главной антиклиналью, и более мелкие структуры, объединяемые на севере Донецкого прогиба в Северную зону мелкой складчатости. В южной части Донецкого складчатого сооружения выделяется Южная зона мелких складок, где складчатый карбон перекрыт мезозойско-кайнозойским чехлом мощностью до 500 м и более.

Допалеозойские магматические и метаморфические образования, составляющие кристаллический фундамент всех структурных элементов Восточного Донбасса, и покрывающие их вулканогенно-осадочные породы девона на поверхность нигде не выходят, как и пермские отложения, известные на северо-востоке только по данным малочисленных скважин.

### Материалы и методы

Исходными материалами для исследования послужили результаты аэросъемочных работ, проведенных в 2011 году компанией «Аэрогеофизика». Основные технические параметры получения этих материалов сводятся к следующему. Аэросъемочные работы, по результатам которых построены базовые карты потенциальных полей для исследуемого региона, характеризуются значительной высотой полетов (450 м над уровнем моря) и удаленностью между соседними маршрутами (500 м). Используемый в процессе съемки аэромагнитометр является современным высокоточным прибором для измерения магнитного поля Земли с диапазоном измерений 15000-130000 нТл. Разрешающая способность его от 0,001 нТл при 10 отсчетах в секунду и до 0,01 нТл при 100 отсчетах в секунду, что обеспечивает возможность построения карт изолиний локальных аномалий магнитного поля с сечением в первые единицы нТл. Магнитометр характеризуется высокой защитой от помех и виброустойчивостью. Все эти параметры обеспечивают высокую техническую точность измерений.

Аэрометод измерения поля силы тяжести стал активно внедряться в практику геофизических исследований в последние десятилетия. Аэрогравиметрия имеет ряд определенных преимуществ перед традиционными наземными съемками (мобильность, высокая экономическая эффективность и возможность изучения поля силы тяжести в трехмерном пространстве – на разных высотных уровнях). Однако методики и средств эталонирования аэрогравиметрической аппаратуры в настоящее время не существует. Поэтому в первые годы применения аэрогравиметрии предусматривалось включать в контуры исследуемых площадей участки с высокоточными наземными съемками в качестве эталонов. По результатам сопоставления аэросъемочных работ с этими эталонами сделан вывод о том, что величина погрешности определения аномалий силы тяжести по данным аэрогравиметрической съемки составляет порядка 0,4-0,5 мГал. Величины аномалий итоговой карты силы тяжести являются средними арифметическими значениями поля по разреженным сети, имеют погрешность 0,41 мГал и представлены в условном уровне. Подобная точность съемки обеспечивает возможность решения задач региональных исследований.

Вместе с тем территория этих аэросъемок не распространяется на приграничную с Украиной полосу шириной 60 км и более. В связи с этим возникла необходимость использования аналоговых аэросъемочных материалов, выполненных до 2000 года (высоты 150-200 м), что обусловило необходимость разработки техноло-

гической схемы, которая могла бы обеспечить составление сводных карт потенциальных полей с использованием материалов разновысотных аэросъемок.

Исходными данными для наращивания карт потенциальных полей основной части площади исследований в западном направлении (в приграничную полосу с Украиной) являются материалы аэромагнитных съемок, проведенных до 2000 г. Преимущественно это аэромагнитные съемки масштаба 1:25000 (1968-91 гг.), задачей которых было изучение геологического строения структуры фундамента и осадочного чехла, а также выделение перспективных участков на нефть и газ и оценка нефтеносности. Аппаратурная точность съемок в пределах основной части приграничной полосы составляет 2,5 нТл. Высота полетов 200 м, расстояние между маршрутами 150-200 м. Материалы по этим съемкам ранее были обобщены и приведены к нормальному полю Земли эпохи середины 1990 г., что на 60 нТл выше, чем принято для базового массива. Недостатками всех этих съемок является невысокое качество внутренней увязки. Однако информативность съемок, в целом, как оказалось, высокая, и не исчерпывается теми выводами, которые сделаны авторами отчетов при анализе магнитного поля по каждому отдельному участку.

## Результаты и обсуждение

### Формирование сводных карт потенциальных полей

Как удалось установить, в результате проведенного анализа основной проблемой для составления сводных карт потенциальных полей является существенное различие в высотных уровнях предшествующих съемок. Выше уже упоминалось, что съемочные работы 2011 г. выполнялись при высоте полета 450 м над уровнем моря, а съемки восьмидесятых годов выполнены на уровне 200 м. Эти различия по высоте съемочных работ привели к тому, что при общем совпадении структуры аномалий базового поля (2011 г.) и структуры аномалий по результатам съемок предшествующего периода, интенсивности их в плане могут существенно отличаться. Причинами подобного эффекта являются различия в скорости «затухания» интенсивности аномалий над геологическими образованиями различной глубины залегания (переменный вертикальный градиент). В результате введение каких-либо постоянных поправок в массив данных, который присоединяется к базовому массиву, не обеспечивало плавного слияния этих данных. В этой связи была принята следующая технология поэтапного формирования сводных карт (описывается на примере магнитного поля). Все работы с цифровыми матрицами выполнялись с использованием программного комплекса ГИС Интегро [Галуев и др., 2001, 2004; Давыденко, 2006].

Первый шаг. «Склеивание» данных базового массива с дополнительно привлекаемыми данными. Эта процедура осуществлялась с использованием логической функции, предусмотренной в модуле ГИС Интегро «арифметика»:

if (mag-baz) = TosIndef then (mag-swod):= (mag-dop-60) else (mag-swod):= (mag-baz), что означает: если значения базового массива не определены, то сводному массиву присвоить значения дополнительного массива минус 60 нТл (разность в уровнях нормального поля), иначе сводному массиву присвоить значения базового массива.

Второй шаг. После «склеивания» всех дополнительных массивов с базовым получаем сводный массив для исследуемой площади. В этом сводном массиве необходимо обеспечить плавные переходы от дополнительных массивов к базовому.

С этой целью из сводного массива последовательно вырезаются участки прямоугольной формы (используется процедура «фрагментация») таким образом, чтобы краевая часть этих участков включала узкую полосу (4-5 км) базовой площади.

Третий шаг. В пределах массивов вырезанных фрагментов осуществляется сглаживание магнитного поля по «скользящей» круговой палетке диаметром 2 или 3 км в зависимости от сложности поля.

Четвертый шаг. Процедура «вклеить» в имеющемся у автора варианте ГИС Интегро к сожалению не предусмотрена. Поэтому ранее вырезанные фрагменты с результатами сглаживания приходится возвращать в сводный массив, раскрывая непосредственно всю матрицу сводного массива и выполняя операции «копировать – вклеить». Учитывая вмешательство в матрицу сводного массива на последнем этапе, выполнено сглаживание по круговой палетке диаметром 2 км для всей площади исследований. Так как межпрофильное расстояние для съемки 2011 г. составляет 0,5 км, то это достаточно шадящее сглаживание.

Формирование сводной карты поля силы тяжести осуществлялось по аналогии с картой магнитного поля.

### **Выбор параметров преобразования исходных аномалий на компоненты**

Вопрос о корректировке модели подразделения гравитационного и магнитного полей на составляющие связан, прежде всего, с существенным изменением в целом структуры исходных полей, что обусловлено включением в пределы исследуемого региона площадей на западе и северо-западе исследуемой площади. Это не столь значительное изменение площадных размеров существенно сказалось на изменении общей структуры аномальных полей, в пределах принятых границ исследуемой площади. Так на карте локальных аномалий силы тяжести заметно увеличился участок, в пределах которого развиты линейные аномалии субширотной ориентировки. На картах магнитного поля повысился процент площадей с преобладанием объектов, которые сопровождаются высокоинтенсивными аномалиями. Последние связаны не только с интрузивными образованиями в составе осадочной толщи [Granovsky, 2018], но и с магматическими породами неглубоко погруженного кристаллического фундамента в пределах склонов Донецкого прогиба, а также в пределах погруженного северного продолжения (Еланчинский горст) Приазовского блока Украинского кристаллического массива [Бакаржиева, 2016].

В связи с отсутствием данных о физических свойствах геологических образований судить о природе магнитных аномалий и аномалий силы тяжести приходится только по фактам пространственного совпадения их с геологическими образованиями. Однако большая часть объектов, сопровождающихся аномалиями, не выходит на поверхность. Причины указанного нередко связаны не только с глубиной эрозии в различных структурных районах региона, но также и с широким распространением надвиговых дислокаций [Рорков, 2009; Тектоника..., 2009], которые маскируют выходы на поверхность объектов с повышенной намагниченностью.

Упомянутые выше различия структуры аномальных полей западных и восточных площадей региона не требуют изменения ранее принимаемой нами трехуровневой модели гравимагнитных аномалиеобразующих объектов анализируемого геологического пространства [Давыденко и др., 2019]. Нижний из этих уровней – это глубинные образования, связываемые, в основном, с глубокими горизонтами фундамента. Комплекс магнитовозмущающих объектов и плотностных неоднород-

ностей в составе осадочной толщи и верхних горизонтов фундамента рассматриваем как среднеглубинные аномалиеобразующие объекты. Геолого-геофизические неоднородности приповерхностных горизонтов литосферы соответствуют третьему (верхнему) уровню.

С каждым из этих элементов геологического пространства сопоставляются соответствующие компоненты аномального поля, именуемые в дальнейшем как фоновая составляющая, остаточные и локальные аномалии. Выделение третьего уровня с одной стороны условно, а с другой очень важно. Фактически компонента остаточных аномалий обусловлена совокупностью всех объектов, расположенных выше условного «глубинного» уровня. Она включает в том числе и аномальный эффект от приповерхностных горизонтов. Однако в интенсивности аномалий остаточной компоненты все же большая доля обусловлена глубокими горизонтами изучаемого геологического пространства, а не малоглубинными объектами. Важность выделения локальной компоненты связана именно с тем обстоятельством, что эта составляющая характеризует физические неоднородности той части геологического пространства, для которой мы различными способами получаем информацию о вещественном составе и структуре геологического разреза. При проведении производственных работ чаще всего используют двухуровневую модель разделения на компоненты (фон и остаточные аномалии).

Подразделение исходных полей на составляющие компоненты проведено с использованием методов математического преобразования исходных данных. Обработка осуществлялась с использованием программного комплекса ГИС ИНТЕГРО. Подбор размеров используемой палетки («скользящего окна») осуществлялся по результатам анализа материалов, получаемых при последовательном изменении входных данных. Задача оценки информативности преобразования комплекса исходных данных решалась с привлечением технологии статистического зондирования геополей COSCAD 3D [Петров и др., 2000, 2010], а также технологии решения обратной задачи гравиразведки и магниторазведки [Приезжаев, 2010]. Окончательно принятые параметры преобразований приведены при описании полученных результатов.

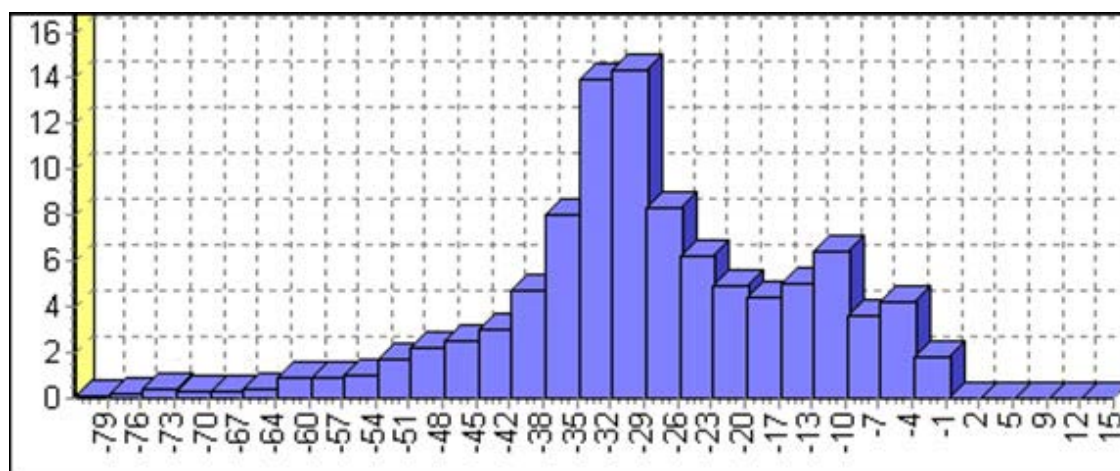
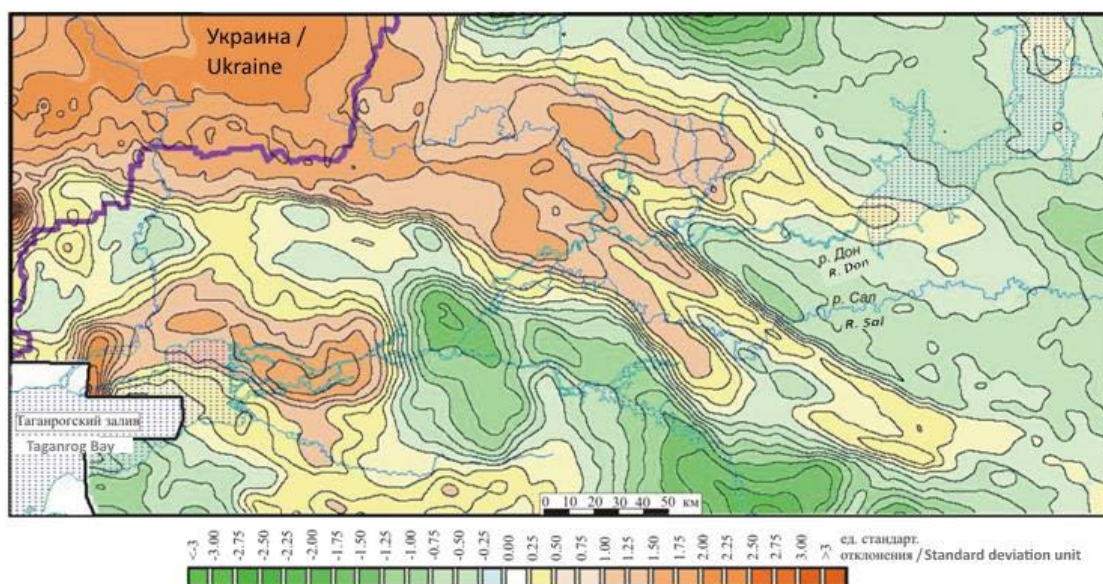


Рис. 2. Гистограмма значений поля силы тяжести (уровень условный) /  
Fig. 2. Histogram of gravity field values (conditional level)





*Рис. 3. Карта изолиний поля  $\Delta g$  (уровень условный) /  
Fig. 3. Map of the isolines of the field  $\Delta g$  (conditional level)*

#### **Разделение поля силы тяжести на составляющие компоненты**

Аномальные значения гравитационного поля (уровень условный) характеризуются широкой амплитудой изменений, которая составляет почти 100 мГл. Это следует из данных, представленных на рисунке 2. Относительно широкий максимум частоты встречаемости позволяет отметить преобладание на площади аномалий поля  $\Delta g$  малой и средней интенсивности. Карта изолиний поля силы тяжести представлена на рисунке 3.

В целом площадям Донецкого кряжа соответствуют повышенные значения  $\Delta g$ . Самые высокие значения аномалий характерны для северо-западной части площади, где осевая зона авлакогена совпадает с глубинным объектом (в фундаменте) повышенной плотности. Относительно широкое распространение отрицательных аномалий  $\Delta g$  в пределах исследуемой площади связано с увеличением мощности рыхлых отложений в Тузлов-Маньчском прогибе на юге и Тормосинском прогибе на севере.

На рисунке 4 представлена гистограмма значений остаточных аномалий поля силы тяжести. Наличие двух максимумов вариационной кривой обусловлено распространением в регионе крупных объектов двух типов – впадин (отображается на гистограмме в виде менее интенсивных значений) и положительных форм (соответствуют более интенсивным значениям остаточных аномалий).

Выбирая вариант выделения фоновой компоненты ранее для решения этой задачи была принята квадратная палетка (скользящая) со стороной 190 км. Фоновое значение рассчитывалось для центральной точки этой площадки как результат аппроксимации исходного поля  $\Delta g$  полиномом первого порядка. Сопоставление полученных ранее результатов с картой изолиний исходных аномалий в пределах нового контура (рис. 3) показало целесообразность подчеркнуть общую симметрию авлакогена, заменив полином первой степени полиномом второй степени. Изолинии рассчитанного подобным образом фона показаны на карте остаточных аномалий

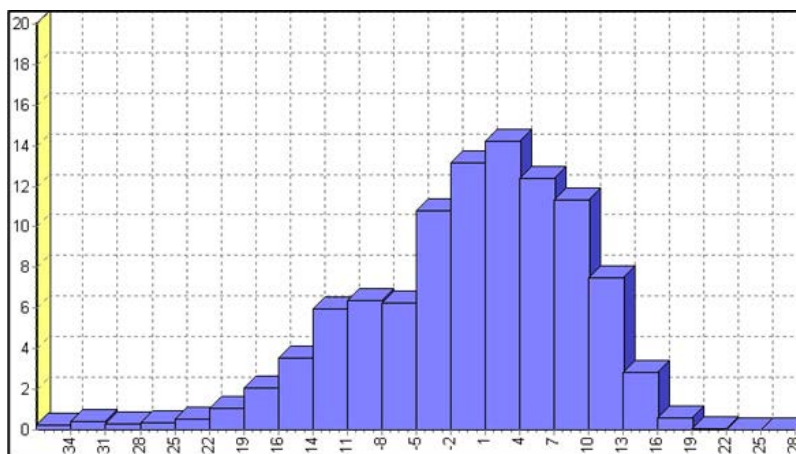


Рис. 4. Гистограмма значений остаточных аномалий поля силы тяжести (уровень условный) / Fig. 4. Histogram of the values of the residual anomalies of the gravity field (conditional level)

поля силы тяжести (рис. 5). В целом изолинии полученной фоновой компоненты как бы оконтуривают объект эллипсоидальной формы. При этом эпицентральная часть эллипса примерно соответствует Ровенецкому поднятию, которое является самой приподнятой структурой Донецкого складчатого сооружения.

Указанное можно рассматривать как отображение в фоновой компоненте анализируемого региона структурно-вещественного объекта первого порядка – Донецкого кряжа, что соответствует представлениям [Saintot, 2003; Bush et al., 2008] и, соответственно, как подтверждение правильности выбранной схемы определения фона.

Остаточные аномалии поля силы тяжести региона связаны с глубинными фрагментами структурно-вещественных образований второго порядка. Основными из них являются протяженные положительные аномалии, соответствующие глубоким горизонтам трех крупных линейных складок Донецкого кряжа, а также крупная по

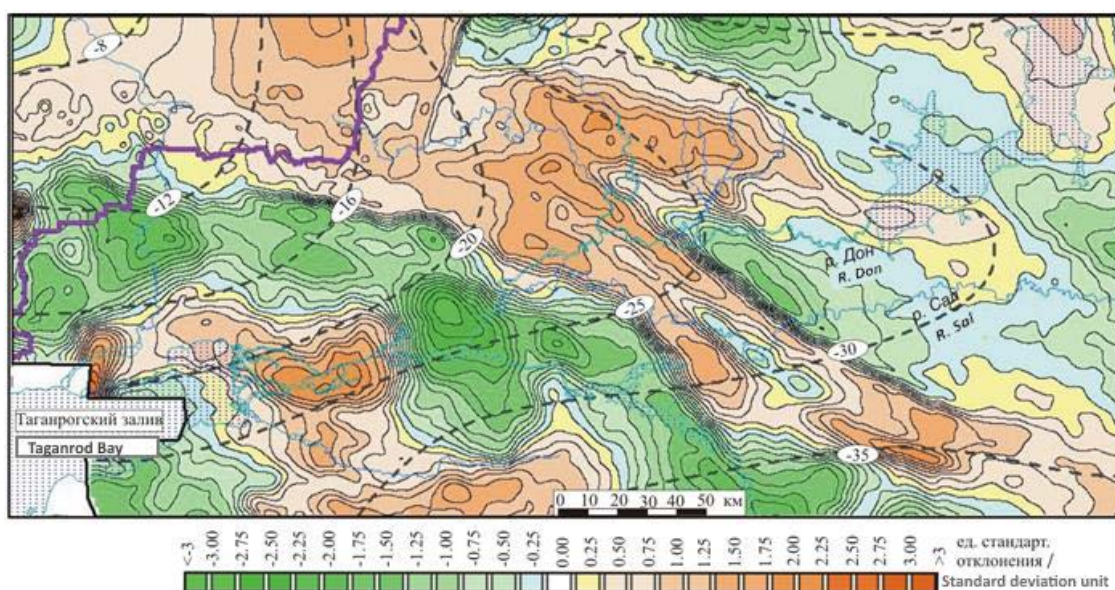


Рис. 5. Карта изолиний остаточной компоненты поля  $\Delta g$  (уровень значений условный) / Fig. 5. Map of the isolines of the residual component of the field  $\Delta g$  (the level of values is conditional)

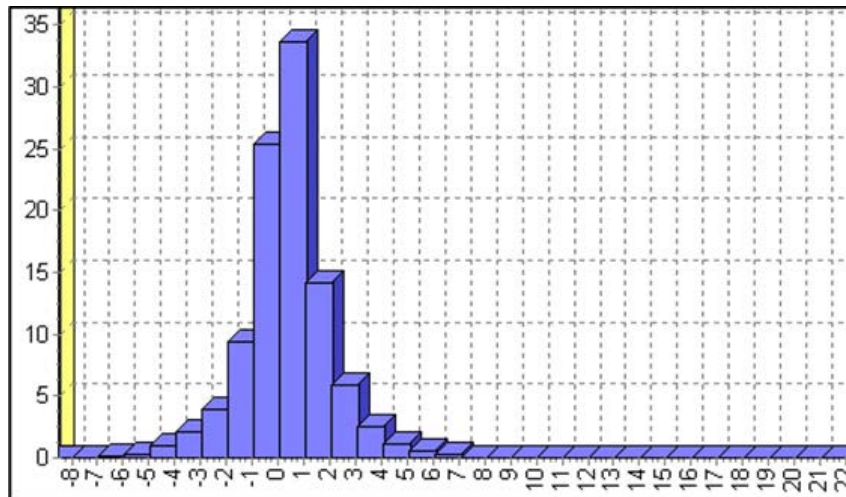


Рис. 6. Гистограмма значений локальных аномалий поля силы тяжести (уровень условный) /  
Fig. 6. Histogram of values of local anomalies of the gravity field (conditional level)

площадным размерам положительная аномалия, обусловленная плотностной неоднородностью фундамента (расположена на северном крыле Ровенецкого поднятия).

На рисунке 6 приведена гистограмма значений локальных аномалий поля  $\Delta g$ .

Амплитуда изменения величин этого параметра в подавляющем большинстве случаев соответствует интервалу от  $-5$  до  $5$  мГл, хотя значения некоторых аномалий превышают  $20$  мГл. Подобные аномалии связаны с объектами кристаллического фундамента. Минимальные величины достигают  $-10$  мГл и обусловлены глубокими впадинами мезозойского возраста.

Для оценки величин локальных аномалий опробованы 4 варианта их определения. Во всех этих случаях они рассчитывались как разность между средним значением по круговой площадке и величиной остаточной аномалии для этой точки. При этом расчеты были выполнены для площадок с диаметрами  $10$ ,  $20$ ,  $30$  и  $40$  км. Полученные результаты показали, что в варианте  $20$  км более четко, чем в других случаях, отображаются в структуре аномального поля региональные элементы анализируемой площади – 3 линейные антиклинали (Южная, Главная и Северная).

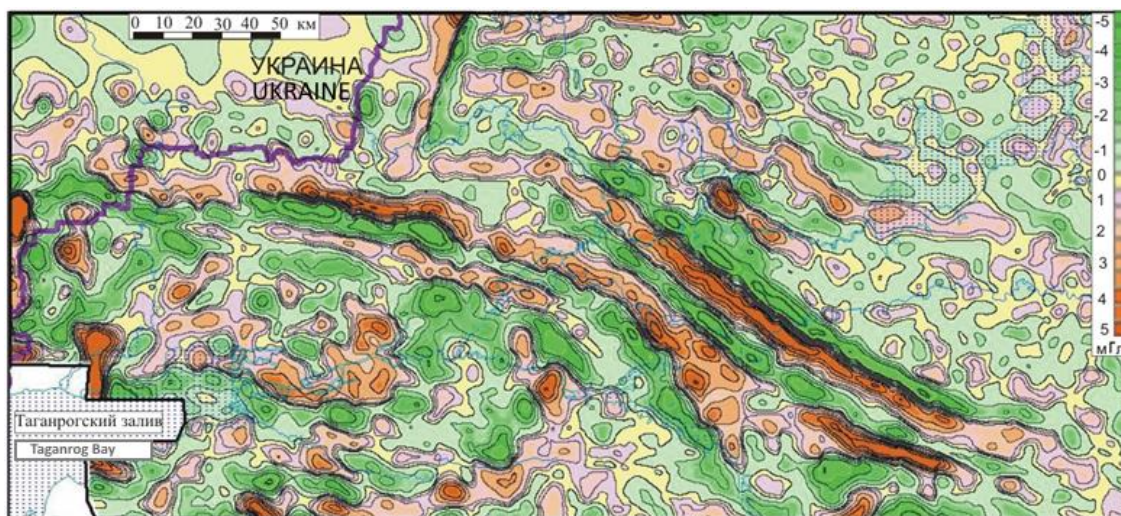


Рис. 7. Карта изолиний локальной компоненты поля  $\Delta g$  (уровень значений условный) /  
Fig. 7. Isoline map of the local component of the field  $\Delta g$  (conditional value level)

Указанное четко отображается на карте локальных аномалий (рис. 7). При четкой структурной выраженности этих объектов интенсивности аномалий в их пределах изменяются в достаточно широком интервале (от 0,5 мГл до 4,5 мГл). Высокие значения рассматриваемого параметра до 4,5 мГл характерны для Главной антиклинали на юго-востоке и в немалой мере для Южной для отдельных отрезков на всем протяжении. Наименьшие значения соответствуют Главной антиклинали на участке вблизи площадей Ровенецкого поднятия и, особенно, в пределах последнего (до 0,5 мГл). Вторая Южная антиклиналь, в значительной мере перекрытая мезозойскими отложениями и практически граничащая с контуром Ростовского свода, в целом слабо изучена в геологическом отношении.

### Разделение магнитного поля на составляющие компоненты

Интенсивность исходных значений магнитного поля в пределах исследуемых площадей изменяется в интервале от  $-350$  нТл до  $1330$  нТл, что демонстрируется на рисунке 8. Широкое развитие отрицательных значений магнитного поля связано с пониженными значениями фоновой компоненты в пределах площадей авлакогена и составляет порядка  $-160$  нТл.

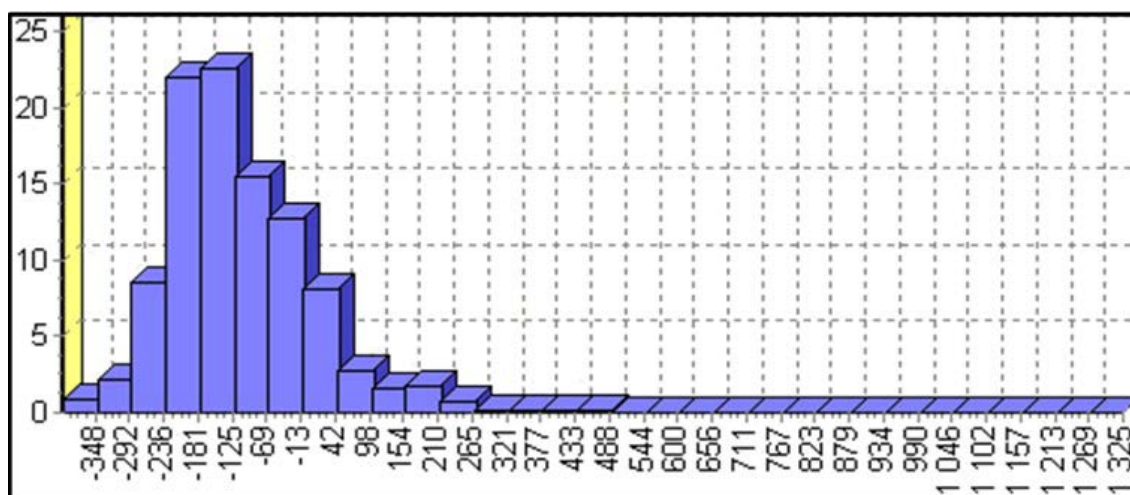
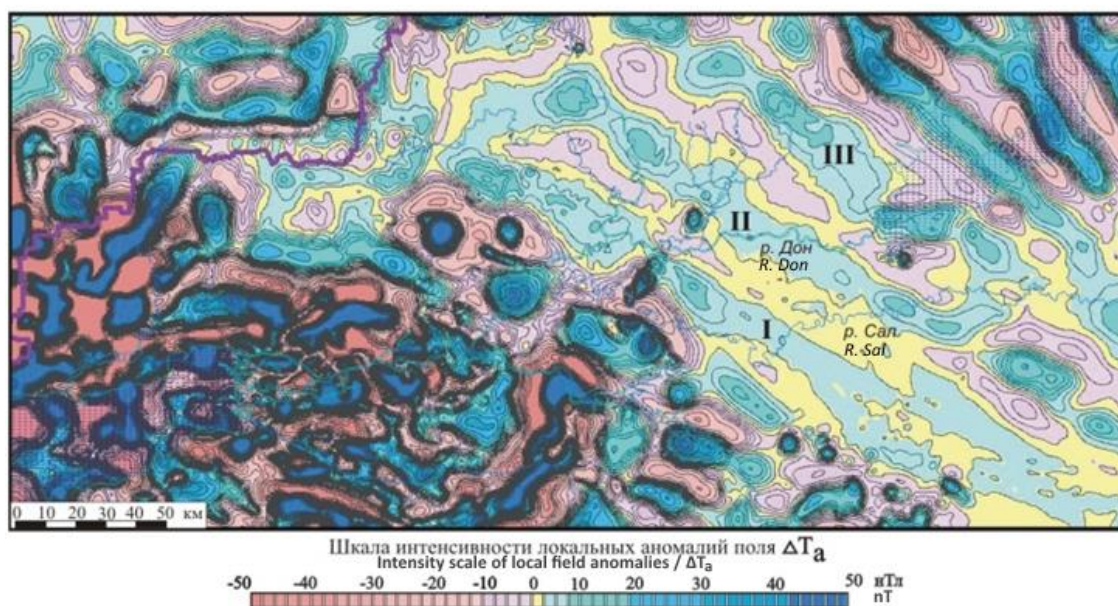


Рис. 8. Гистограмма значений поля  $\Delta T_a$  (значения приведены в нТл) /  
Fig. 8. Histogram of the values of the field  $\Delta T_a$  (the values are given in nTl)

При выделении локальных аномалий магнитного поля для исследуемого региона важную роль сыграла оптимизация выбора всей линейки параметров преобразования исходной информации. В результате этих преобразований впервые для площадей Донецкого кряжа выделены и прослежены линейные зоны слабоинтенсивных положительных аномалий (рис. 9).

Две из этих зон в целом совпадают с Главной и Северной линейными антиклиналями. Возможно, и Южной антиклинали также соответствует подобная аномальная зона, но она полностью маскируется группой интенсивных магнитных аномалий над комплексом магматических образований, сконцентрированных вдоль этой складки и Персияновского разлома. Упомянутые антиклинали приурочены к крупным разломным системам, они сопровождаются гидротермально-метасоматическими преобразованиями осадочных пород, а также, увеличением намагниченности образований вещественно-структурных комплексов, сформированных в приразломных зонах, что и является причинами повышений магнитного поля. В связи



*Рис. 9. Карта изолиний локальных аномалий поля  $\Delta T_a$  /  
Fig. 9. Map of isolines of local anomalies of the field  $\Delta T_a$*

с указанным, обнаруженные протяженные магнитные аномалии линейной формы именуем также как и линейные антиклинали на рисунке 9: I – Главная, II – Северная и III – Алмазная. Последняя названа в соответствии с глубинным разломом, к которому она тяготеет.

Следует отдельно отметить возможность формирования Северной зоны в результате совместного влияния разлома, соответствующего Северной антиклинали, а также сближенного с ним разлома, связанного с Северной линейной антиклинальной зоной мелких складок. Площадное распространение выявленных ранее золоторудных и полиметаллических проявлений в существенной мере контролируется вновь обнаруженными зонами слабоинтенсивных магнитных аномалий. Указанное позволяет прогнозировать высокую значимость выделяемых линейных зон как критериев для решения задач минерагенического районирования площадей исследуемого региона.

### Заключение

1. Разработана технология, обеспечивающая составление сводных карт потенциальных полей с использованием материалов разновысотных аэро съемок на основе отечественной геоинформационной системы ГИС Интегро. Она включает четыре стадии: 1 – вставка и состыковка разновысотных карт в ГИС Интегро; 2 – вырезка узкой полосы состыкованной части карты; 3 – сглаживание данных до достижения приемлемого результата; 4 – усаживание сглаженного фрагмента в карту.

2. Расширение анализируемой площади способствовало оптимизации процедур подразделения исходных полей на составляющие компоненты. Так при определении фоновой компоненты стало возможным использовать вычисление параметров в пределах скользящей площадки методом аппроксимации исходных аномалий полиномом второй степени. Это позволило осуществить более высокую адаптацию модели фоновой компоненты к структуре Донецкого складчатого сооружения.

3. При выделении локальных аномалий магнитного поля для исследуемого региона важную роль сыграла оптимизация выбора всей линейки параметров преобразований исходной информации. В результате впервые для площади Донецкого складчатого сооружения выделены и прослежены линейные зоны слабоинтенсивных положительных магнитных аномалий. Две из этих аномалий в целом совпадают с протяженными Главной и Северной антиклинальными зонами. Предполагается, что и Южной антиклинальной зоне также соответствует подобная магнитная аномалия, но она полностью маскируется группой интенсивных магнитных аномалий над комплексом магматических образований, сконцентрированных вдоль этой складки.

4. Упомянутые магнитные аномалии связаны с крупным разломными системами, приуроченными к осевым поверхностям названных антиклиналей. Они сопровождаются гидротермально-метасоматическими преобразованиями осадочных пород, а также, увеличением намагниченности образований вещественно-структурных комплексов, сформированных в приразломных зонах, что и является причинами повышений магнитного поля.

5. Площадное распространение выявленных ранее золоторудных и полиметаллических проявлений в существенной мере контролируется вновь обнаруженными зонами слабоинтенсивных магнитных аномалий. Это позволяет придать высокую значимость выделяемых линейных аномальных зон как критериев для решения задач минерагенического районирования исследуемого региона.

## Литература

1. Агеев С. Н., Лёвин Ф. Д. Элементы глубинного строения Юга Восточно-Европейской платформы по аэрогравиметрическим данным. // Разведка и охрана недр. – 2015. – № 12. – С. 64-67.
2. Бакаржиева М. И., Марченко А. В., Розыган Т. В., Гадяцкая Е. П., Друкаренко В. В. Магнитное поле и дайковые пояса Восточно-Приазовского блока Украинского щита. // Геофизический журнал. – 2016. – Т. 38. № 2. – С. 19-34.
3. Галуев В. И., Каплан С. А., Черемисина Е. Н., Малинина С. С. Методика выделения опорных глубинных границ изменения физических свойств для решения задач интегрирования геоинформации при региональных геофизических исследованиях. // Геоинформатика. – 2004. – № 1. – С. 18-20.
4. Галуев В. И., Черемисина Е. Н., Малинина С. С. Функциональное обеспечение унифицированной системы обработки и интерпретации геолого-геофизических данных на региональных профилях // Геоинформатика. – 2001. – № 1. – С. 19-24.
5. Гринь Д. М. Розломно-блокова будова межі Мохо під центральною частиною Донецької складчастої споруди (за лінією сейсмічного профілю DOBREflection2000). // Геофизический журнал. – 2020. – Т. 42. № 5. – С. 193-204.
6. Давыденко Д. Б. ГИС ИНТЕГРО в комплексе работ по ГДП-200 при прогнозировании рудоносности площадей Восточного Донбасса. // Геоинформатика. – 2006. – № 2. – С. 29-38.
7. Давыденко Д. Б., Парада С. Г. Геолого-геофизические признаки полигенно-полихронной природы золоторудных проявлений Донецкого Авлакогена. // Геология и геофизика Юга России. – 2019. – Т. 9. № 4. – С. 13-27.
8. Лёвин Ф. Д., Буш В. А., Павлов С. А., Могилевский В. Е. Современная активность глубинных тектонических границ земной коры. // Разведка и охрана недр. – 2011. – № 7. – С. 60-64.

9. Парада С.Г. Перспективные типы месторождений и рудопоявлений золота Юга России. // *Геология и геофизика Юга России*. – 2017. – № 1. – С. 57-72.
10. Петров А.В., Трусов А.Н. Компьютерная технология статистического и спектрально-корреляционного анализа трёхмерной геоинформации КОСКАД 3D. // *Геофизика*. – 2000. – № 4. – С. 29-33.
11. Петров А.В., Юдин Д.Б., Сюели Хоу. Обработка и интерпретация геофизических данных методами вероятностно-статистического подхода с использованием компьютерной технологии «КОСКАД 3D». // *Вестник КРАУНЦ. Сер. Науки о Земле*. – 2010. – № 2. Вып. 16. – С. 125-132.
12. Приезжаев И.И. Уточнение геологической модели по данным гравитационного поля на основе критериальных методов решения обратных задач. // *Геофизика*. – 2010. – № 1. – С. 65-68.
13. Тектоника южного обрамления Восточно-Европейской платформы (Объяснительная записка к тектонической карте Черноморско-Каспийского региона. Масштаб 1: 2500000). / под ред. В.Е. Хаина, В.И. Попкова. – Краснодар: Кубанский государственный университет, 2009. – 213 с.
14. Трошенко В.В. О сдвиговой деформации Донецкого складчатого сооружения. // *Труды РАНМИ*. – 2019. – № 8-2 (23). – С. 128-131.
15. Bush V.A., Kaz'min V.G. Crystalline basement and fold complex of the Volga-Ural, Pericaspian, and Fore-Caucasus petroliferous basins. // *Geotectonics*. 2008. – Vol. 42. No. 5. – pp. 396-409.
16. Bush V.A. The deep structure of The Scythian plate basement. // *Geotectonics*. – 2014. – Vol. 48. No. 6. – pp. 413-426.
17. Granovsky A.G. Magmatism and stages of the tectonic evolution in the Donets folded structure, Eastern Donets basin. // *Geotectonics*. – 2018. – Vol. 52. No. 4. – pp. 485-498.
18. Lobkovsky L.I., Tikhonova N.F., Kaz'min V.G. Position of the Southern marginal suture of the East European craton. // *Doklady Earth Sciences*. – 2011. – Vol. 437. No. 2. – pp. 340-342.
19. Maystrenko Yu., Stovba S., Tolkunov A., Stephenson R., Saintot A., Bayer U., Menyoli E., Gajewski D., Huebscher C., Rabbel W., Starostenko V., Thybo H. Crustal-scale pop-up structure in cratonic lithosphere: DOBRE deep seismic reflection study of the Donbas Fold Belt, Ukraine. // *Geology*. – 2003. – Vol. 31. No. 8. – pp. 733-736.
20. Popkov V.I. Fold-thrust dislocations in sedimentary cover of the sea of Azov. // *Geotectonics*. – 2009. – Vol. 43. No. 4. – pp. 324-332.
21. Saintot A., Stephenson R., Stovba S., Maistrenko Yu. Structures associated with inversion in the Donbass fold belt (Ukraine and Russia). // *Tectonophysics*. – 2003. – Vol. 373. – pp. 181-207.

## References

1. Ageev S.N., Levin F.D. Elements of the deep structure of the South of the East European platform according to airborne gravimetric data. Exploration and protection of mineral resources. 2015. No. 12. pp. 64-67. (In Russ.)
2. Bakarzhieva M.I., Marchenko A.V., Rozygan T.V., Gadyatskaya E.P., Drukarenko V.V. Magnetic field and dike belts of the East Priazovsky block of the Ukrainian shield. *Geophysical journal*. 2016. Vol. 38. No. 2. pp. 19-34. (In Russ.)
3. Galuev V.I., Kaplan S.A., Cheremisina E.N., Malinina S.S. A technique for identifying the reference depth boundaries of changes in physical properties for solving problems of integrating geoinformation in regional geophysical research. *Geoinformatics*. 2004. No. 1. S. 18-20. (In Russ.)
4. Galuev V.I., Cheremisina E.N., Malinina S.S. Functional support of a unified system for processing and interpreting geological and geophysical data on regional profiles. *Geoinformatics*. 2001. No. 1. pp. 19-24. (In Russ.)

5. Grin' D.M. Fault-block structure of the Moho boundary under the central part of the Donetsk folded structure (along the seismic profile line DOBRE reflection 2000). *Geophysical journal*. – 2020. Vol. 42. No. 5. pp. 193-204. (In Ukr.)
6. Davydenko D.B. GIS INTEGRO in the complex of works on GDP-200 for forecasting the ore content of the areas of the Eastern Donbass. *Geoinformatics*. 2006. No. 2. pp. 29-38. (In Russ.)
7. Davydenko D.B., Parada S.G. Geological and geophysical signs of the polygenic-polychronous nature of the gold ore occurrences of the Donetsk Avlakogen. *Geology and Geophysics of Russian South*. 2019. Vol. 9. No. 4. pp. 13-27. (In Russ.)
8. Levin F.D., Bush V.A., Pavlov S.A., Mogilevskii V.E. Modern activity of deep tectonic boundaries of the Earth's crust. *Exploration and protection of mineral resources*. 2011. No. 7. pp. 60-64. (In Russ.)
9. Parada S.G. Prospective types of deposits and ore occurrences of gold in the South of Russia. *Geology and Geophysics of Russian South*. 2017. No. 1. pp. 57-72. (In Russ.)
10. Petrov A.V., Trusov A.N. Computer technology of statistical and spectral-correlation analysis of three-dimensional geoinformation KOSKAD 3D. *Geophysics*. 2000. No. 4. pp. 29-33. (In Russ.)
11. Petrov A.V., Yudin D.B., SyueliKhou. Processing and interpretation of geophysical data by methods of a probabilistic-statistical approach using computer technology "KOSKAD 3D". *Bulletin KRAUNZ. Ser. Earth Sciences*. 2010. No. 2. Issue 16. pp. 125-132. (In Russ.)
12. Priezzhaev I.I. Refinement of the geological model according to gravity data based on criterial methods for solving inverse problems. *Geophysics*. 2010. No. 1. pp. 65-68. (In Russ.)
13. Tectonics of the southern framing of the East European platform (Explan at orynote to the tectonic map of the Black Sea-Caspian region. Scale 1: 2,500,000). ed. V.E. Khain, V.I. Popkova. *Kuban State University. Krasnodar*, 2009. 213 p. (In Russ.)
14. Troshchenko V.V. On the shear deformation of the Donetsk folded structure. In: *Proceedings of the RANIMI*. 2019. No. 8-2 (23). pp. 128-131. (In Russ.)
15. Bush V.A., Kaz'min V.G. Crystalline basement and fold complex of the Volga-Ural, Pericaspian, and Fore-Caucasus petroliferous basins. *Geotectonics*. 2008. Vol. 42. No. 5. pp. 396-409.
16. Bush V.A. The deep structure of the Scythian plate basement. *Geotectonics*. 2014. Vol. 48. No. 6. pp. 413-426.
17. Granovsky A.G. Magmatism and stages of the tectonic evolution in the Donetsk folded structure, Eastern Donetsk basin. *Geotectonics*. 2018. Vol. 52. No. 4. pp. 485-498.
18. Lobkovsky L.I., Tikhonova N.F., Kaz'min V.G. Position of the Southern marginal suture of the East European craton. *Doklady Earth Sciences*. 2011. Vol. 437. No. 2. pp. 340-342.
19. Maystrenko Yu., Stovba S., Tolkunov A., Stephenson R., Saintot A., Bayer U., Menyoli E., Gajewski D., Huebscher C., Rabbel W., Starostenko V., Thybo H. Crustal-scale pop-up structure in cratonic lithosphere: DOBRE deep seismic reflection study of the Donbas Fold Belt, Ukraine. *Geology*. 2003. Vol. 31. No. 8. pp. 733-736.
20. Popkov V.I. Fold-thrust dislocations in sedimentary cover of the sea of Azov. *Geotectonics*. 2009. Vol. 43. No. 4. pp. 324-332.
21. Saintot A., Stephenson R., Stovba S., Maistrenko Yu. Structures associated with inversion in the Donbass fold belt (Ukraine and Russia). *Tectonophysics*. 2003. Vol. 373. pp. 181-207.