

УДК 550.3(470.5+571.1)

DOI: 10.24930/1681-9004-2019-19-1-162-175

## Тектоника и глубинное строение Юганско-Колтогорской зоны фундамента Западно-Сибирской платформы

© 2019 г. К. С. Иванов, Н. П. Костров, А. Е. Степанов

Институт геологии и геохимии УрО РАН, 620016, г. Екатеринбург, ул. Акад. Вонсовского, 15,  
e-mails: ivanovks@igg.uran.ru, kostrov65@yandex.ru, stepanov-58@bk.ru

Поступила в редакцию 04.08.2017 г., принята к печати 19.09.2017 г.

*Предмет и цель исследования.* Исследовалось глубинное строение Юганско-Колтогорской зоны Западной Сибири в целях выявления вероятных участков нефтегазоносности. *Материалы и методы.* Использовался метод выделения линейментов и компьютерного моделирования плотностных свойств горных пород. Выделение линейментов проводилось, в первую очередь, по данным геофизики – по детальным (1 : 200 000) картам аномального магнитного поля и поля силы тяжести. Для выделения разрывных нарушений использовались также дистанционные методы и результаты исследования керна скважин региона. Моделирование глубинного строения доюрского основания выполнено на основе геологической карты путем решения прямой задачи при подборе плотности геологических тел. *Результаты.* Шесть наиболее крупных разломов Юганско-Колтогорской зоны, показанные на геологической карте отдельным знаком “глубинные разломы и региональные зоны расланцевания”, наиболее интересны как возможные нефтеподводящие каналы при поисках месторождений глубинной нефти. *Выводы.* Моделирование глубинного строения доюрского основания, выполненное на основе геологической карты, показало, что в плане нефтеносности следует обратить особое внимание на участки разуплотнения гранитов Юганской зоны Западной Сибири.

**Ключевые слова:** Западная Сибирь, глубинное строение, аномальное гравитационное и магнитное поле, разрывные нарушения, компьютерное моделирование

## Tectonics and deep structure of Yugan-Koltogor zone of West Siberia Platform foundation

Kirill S. Ivanov, Nikolai P. Kostrov, Andrei E. Stepanov

A.N. Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry, Urals Branch of RAS, 15 Akad. Vonsovsky st.,  
Ekaterinburg 620016, Russia, e-mails: ivanovks@igg.uran.ru, kostrov65@yandex.ru, stepanov-58@bk.ru

Received 04.08.2017, accepted 19.09.2017

*Research subject.* The deep structure of the Yugan-Koltogor zone located in West Siberia was investigated with the purpose of detecting prospective oil and gas bearing areas. *Materials and methods.* The methods of lineament extraction and the computer modelling of rock density were employed. Lineament extraction was conducted on the basis of geophysical data, including detailed (1 : 200 000) maps of anomalous magnetic and gravity fields. In order to detect faults, telemetering methods were used, along with the results of studies conducted to investigate core materials from wells in the region. The modelling of the deep structure of the pre-Jurassic basement was performed on the basis of its geological map by solving a direct problem while fitting geological body densities. *Results.* Six largest faults of the Yugan-Koltogor zone identified on the geological map by a special sign “deep faults and regional schistosity zones” are of particular interest as possible oil bearing areas. *Conclusions.* The modelling of the deep structure of the pre-Jurassic basement of the West Siberian Platform has shown the granite decompaction areas of the Yugan zone to be highly promising in terms of oil and gas deposits.

**Keywords:** West Siberia, deep structure, anomalous gravity and magnetic field, faults, computer modeling

### Acknowledgements

For the help and discussion of the results, the authors thank V.A. Volkov (V.I. Shpilman NATs RN).

Research is being conducted with the support of Russian science Foundation (project No. 16-17-10201).

**Для цитирования:** Иванов К.С., Костров Н.П., Степанов А.Е. (2019) Тектоника и глубинное строение Юганско-Колтогорской зоны фундамента Западно-Сибирской платформы. *Литосфера*, 19(1), 162-175. DOI: 10.24930/1681-9004-2019-19-1-162-175

**For citation:** Ivanov K.S., Kostrov N.P., Stepanov A.E. (2019) Tectonics and deep structure of Yugan-Koltogor zone of West Siberia Platform foundation. *Litosfera*, 19(1), 162-175. DOI: 10.24930/1681-9004-2019-19-1-162-175

## ВВЕДЕНИЕ

Юганско-Колтогорская зона расположена в южной части Колтогорского рифта в широтном Приобье, в центральной части Западно-Сибирской платформы. Породы фундамента (а точнее – доюрского основания, т.е. комплексы палеозоя и триаса) залегают здесь на глубинах 2600–3300 м, перекрытые мезокайнозойским осадочным чехлом. Нами проведено доизучение петрографии, петрохимии, геохимии, геохронологии и биостратиграфии пород Юганско-Колтогорской зоны по керну скважин, вскрывших комплексы доюрского основания. Главные результаты этой работы были кратко изложены в нашей статье [Иванов и др., 2018]. Так, было установлено, что возраст развитых здесь гранитов раннепермский (U-Rb, ШРИМП II). Базальты рифтовых зон начали формироваться  $268.4 \pm 7.5$  млн лет назад (по данным Ar-Ar метода). Таким образом, вулканизм в осевых рифтовых зонах фундамента Западно-Сибирского мегабассейна начался раньше, чем это считалось до этого, и значительно раньше трапповых базальтов Сибирской платформы. На основе этих и ранее полученных предшественниками и нами данных (более полный список литературы – см. в [Иванов и др., 2018]) было выполнено построение геологической карты фундамента Юганско-Колтогорской зоны центральной части Западно-Сибирской плиты в масштабе 1 : 500 000; карта представляет собой комплект информационных геологических, геофизических и других слоев.

Изученная территория на уровне доюрского основания по существу состоит из двух отдельных структурно-формационных зон – Юганской и более восточной Колтогорской. Колтогорская зона представлена главным (срединным) триасовым рифтом Западной Сибири (Колтогорским) и его бортами, выполненными главным образом палеозойскими, преимущественно терригенными и терригенно-карбонатными комплексами. Юганская зона состоит в основном из палеозойских вулканогенно-осадочных, а также терригенных и карбонатных образований, на которые также наложены два грабен-рифта пермско-раннетриасового возраста.

Эта, вторая, статья о строении фундамента Юганско-Колтогорской зоны посвящена тектонике и компьютерному моделированию ее глубинного строения.

Судя по резкой смене литологии комплексов пород и характеру физических полей (матрицам геодинамической модели в особенности), следует считать, что все субмеридиональные контакты между структурно-формационными зонами в пределах изучавшегося региона являются тектоническими. Структурно-вещественные комплексы доюрского основания Юганско-Колтогорской зоны характеризуются блоковым строением с развитыми системами разрывных нарушений.

На рис. 1 представлена геологическая карта доюрского основания Юганско-Колтогорской зоны Западной Сибири. На карту вынесены разломы, глубинные разломы и региональные зоны расщепления, а также аномальное гравитационное поле (в условных единицах).

## ДИСТАНЦИОННЫЙ АНАЛИЗ РАЗРЫВНЫХ НАРУШЕНИЙ

Дистанционное выделение линейных структур, предположительно интерпретируемых как разрывные нарушения, проводилось на основе дешифрирования космоснимков с последующим уточнением по данным магнито- и гравиразведки. Использовались общедоступные космоснимки Google.

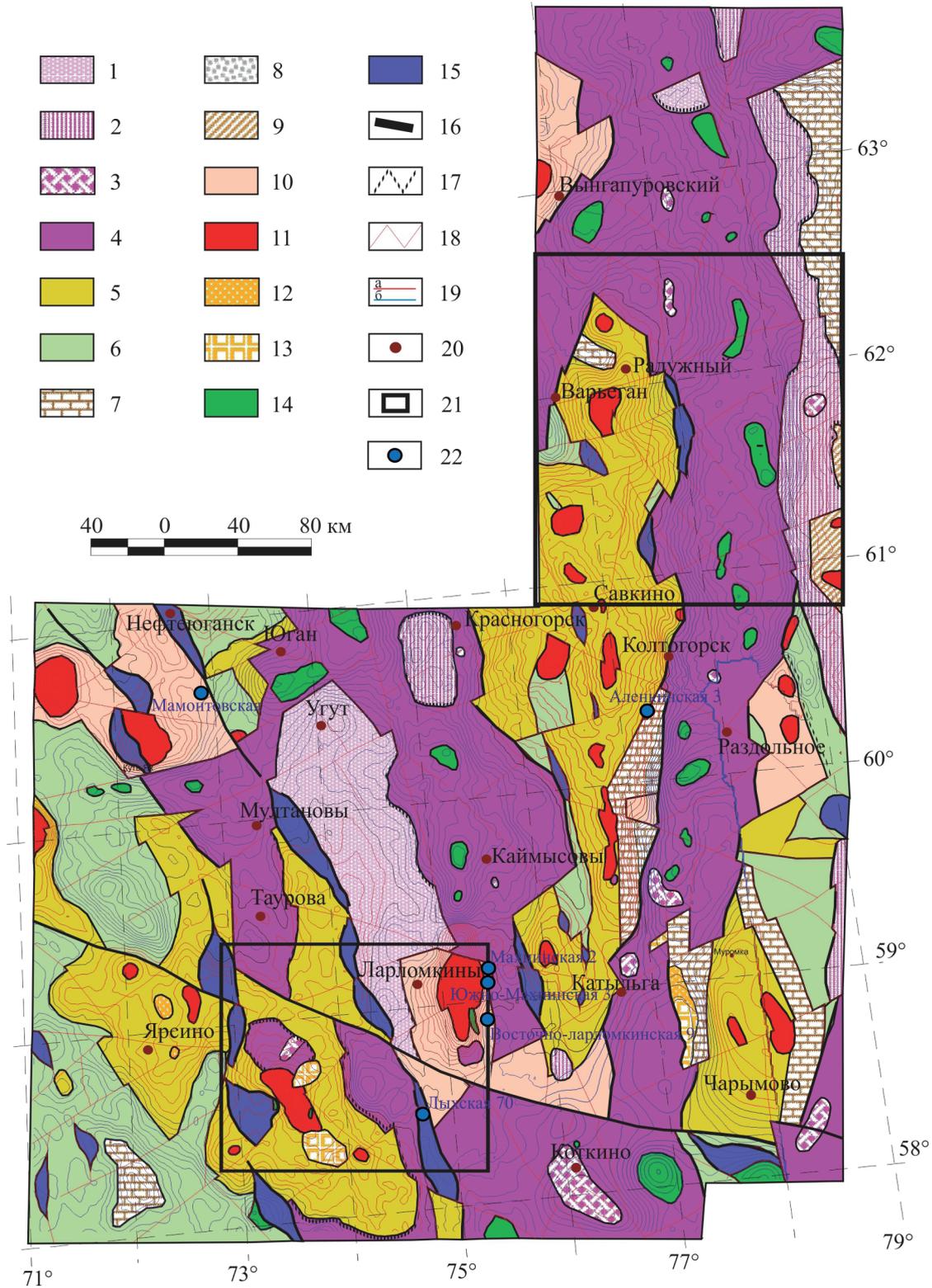
Учитывая плохую степень дешифрируемости в районе работ, обусловленную, прежде всего, мощным чехлом кайнозойско-мезозойских образований, можно выделить в основном крутопадающие зоны нарушений, по всей видимости, молодого (возможно, мезозойско-кайнозойского) возраста. Как показывает практика геологических работ в восточных районах Урала с развитием сравнительно маломощного чехла кайнозойско-мезозойских отложений, такие тектонические дислокации проявлены весьма широко вплоть до неогена-палеогена, в ряде случаев сопровождаясь приразломной линейной складчатостью. Подобные зоны молодых нарушений, судя как по результатам геологической съемки и бурения, так и по геофизическим данным, являются долгоживущими, наследуя структурный план более ранних разломов.

Таким образом, методика дешифрирования свелась к выделению линейных элементов ландшафта (линеаментов), индифицирующих зоны разломов (рис. 2).

Выделение линеаментов проводилось по линейным и линейно-площадным элементам ландшафта, образующим структурные линии и участки с параллельным рисунком фотоизображения. Сюда относятся:

- прямолинейные понижения рельефа, дешифрирующиеся в виде линий различного фототона, обусловленного распределением растительности;
- прямолинейные перегибы рельефа;
- участки частого чередования мелких отрицательных и положительных форм рельефа, что создает линейную структуру фотоизображения;
- спрямленные участки речных долин.

Для более объективного анализа космоснимков применялась компьютерная обработка исходного снимка, включающая несколько стадий. Первая стадия заключалась в формировании 3D-изображения (интерполяционного растра), созданного в программном пакете Spatial Analyst (в составе ArcGIS) (рис. 3).



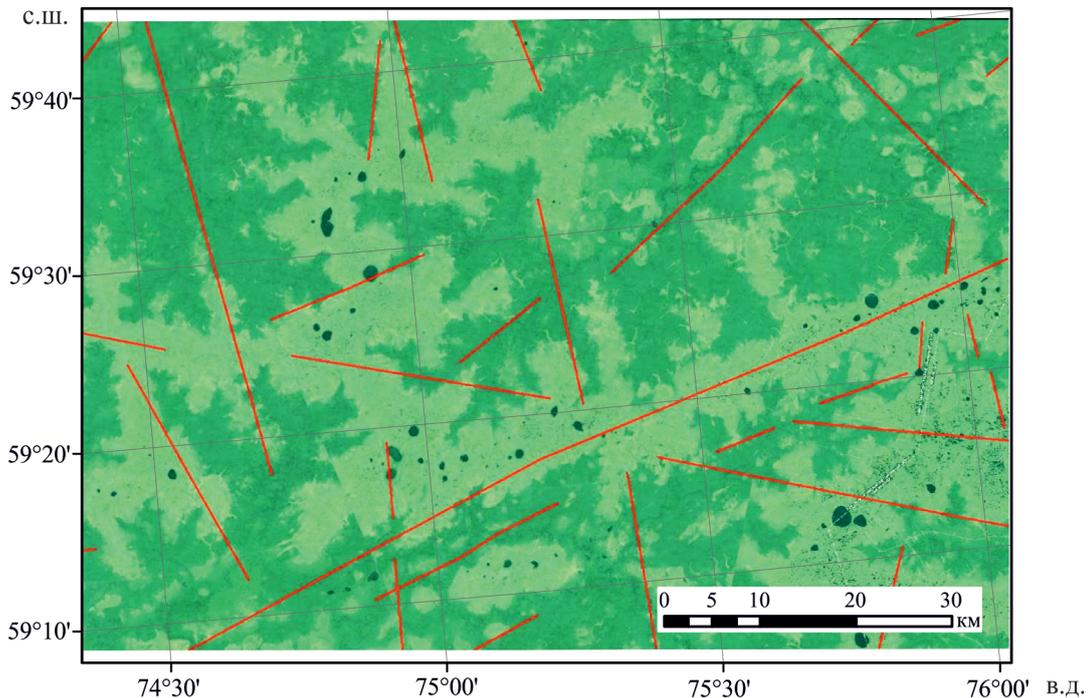
**Рис. 1.** Геологическая карта доюрского основания Юганско-Колтогорской зоны Западной Сибири.

1 – верхний триас: песчаники; 2 – средний триас: базальты, песчаники; 3 – анизийские базальты и риолиты; 4 – верхняя пермь–нижний триас: базальты; 5 – верхний девон–нижний карбон: глинистые и кремнистые сланцы, песчаники, гравелиты, конгломераты; 6 – верхний девон: андезиты, базальты, их туфы; 7 – средний–верхний девон: извесняки, доломиты с подчиненными пачками песчаников и известняков; 8 – девон: кремнисто-терригенно-черносланцевая толща; 9 – средний палеозой: терригенно-карбонатная толща с прослоями эффузивов основного состава; 10 – метаморфические образования: сланцы амфибол-мусковитовые, амфибол-слюдисто-варцевые, серицит-хлорит-альбитовые и др.;

11 – граниты; 12 – гранодиориты; 13 – кварцевые диориты, диориты; 14 – габбро, габбро-долериты; 15 – серпентинизированные ультрабазиты; 16 – глубинные разломы и региональные зоны расланцевания; 17 – несогласное залегание; 18 – разломы; 19 – изолинии аномального гравитационного поля: а – >0, б – <0; 20 – населенные пункты; 21 – участки моделирования; 22 – скважины.

**Fig. 1.** Geological map of pre-Jurassic basement of Yugan-Koltogor zone of West Siberia.

1 – Upper Triassic. Sandstones; 2 – Middle Triassic. Basalts and sandstones; 3 – Lower Triassic – Anisian basalts and rhyolites; 4 – Upper Permian – Lower Triassic basalts; 5 – Upper Devonian – Lower Carboniferous. Argillous and siliceous schists, sandstones, gravelites, conglomerates; 6 – Upper Devonian. Andesites, basalts, and their tuffs; 7 – Middle -Upper Devonian. Limestones, dolomites with subordinate bundles of sandstones and limestones; 8 – Devonian. Siliceous terrigenous black schist stratum; 9 – Middle Paleozoic. Terrigenous carbonate stratum with subordinate interlayers of basic composition effusives; 10 – Metamorphic formations. Amphibole-muscovite, amphibole-micaquartz, sericite-chlorite-albite and other schists; 11 – Granites; 12 – Granodiorites; 13 – Quarts diorites, diorites; 14 – Gabbro, gabbro-dolerites; 15 – ultramafic serpentin rock; 16 – Deep faults and regional zones of foliation; 17 – discordant bedding; 18 – faults; 19 – anomalous gravity field; 20 – settlements; 21 – modeling areas; 22 – wells.



**Рис. 2.** Фрагмент исходного космоснимка с установленными линейными структурами (линеаментами).

**Fig. 2.** A fragment of the source space image with detected linear structures (lineaments).

Кроме 3D обработки, применялось определение уклона (градиент, или скорость максимального изменения значения z) для каждой ячейки поверхности интерполяционного раstra (рис. 4), что также позволило улучшить визуализацию линеаментов.

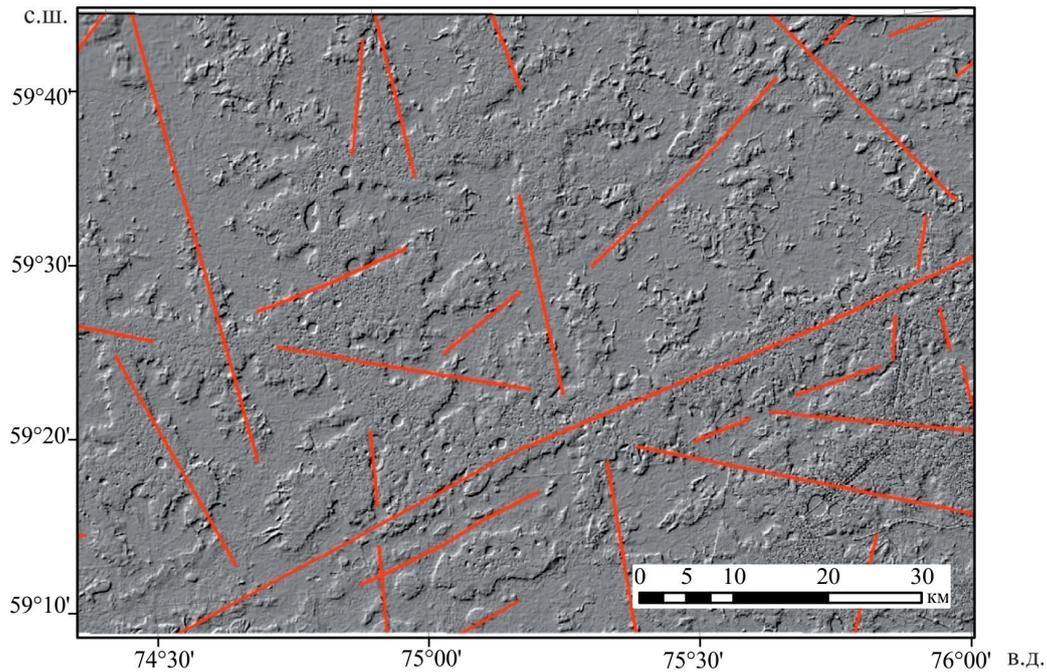
На основе выделенных линеаментов, каждый из которых можно интерпретировать как разрывную структуру, построена цифровая карта плотностей линеаментов, что позволило усреднить участки параллельной трещиноватости и выделить осевые зоны нарушений (рис. 5).

Анализ МАКС выявил разрывные нарушения северо-западного и северо-восточного простираний, как правило, молодого мезокайнозойского возраста, но данный метод недостаточен в условиях Западной Сибири для выделения региональных

тектонических швов. Заключительным этапом создания структурного каркаса геологической карты было уточнение структурной схемы по картам магнитного и гравитационного полей (рис. 6).

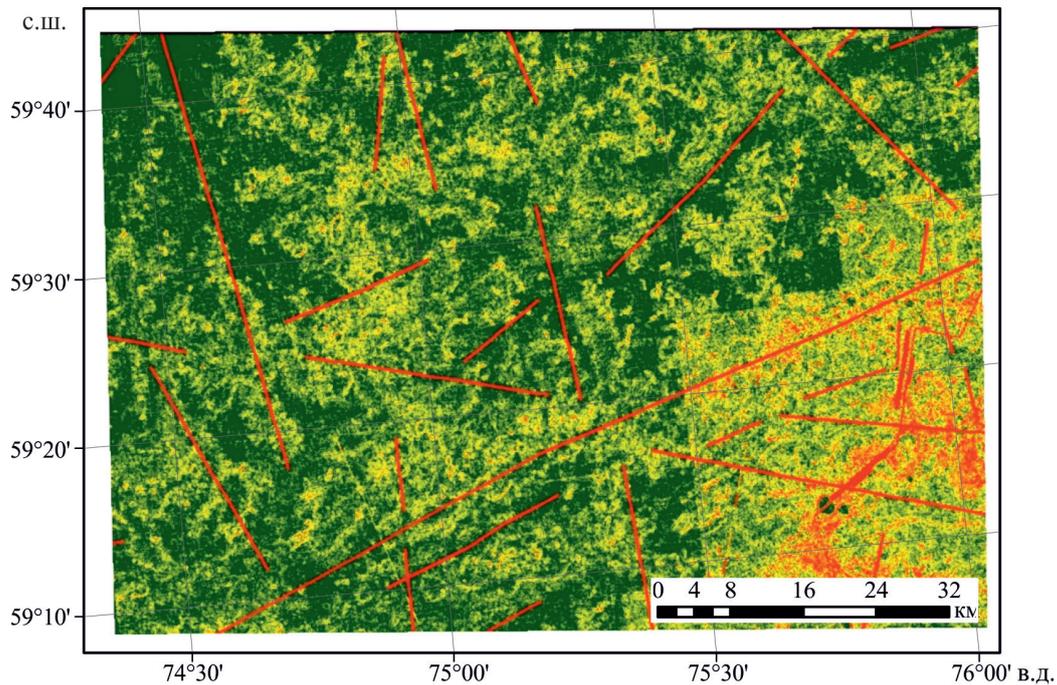
#### ХАРАКТЕРИСТИКА РАЗРЫВНЫХ НАРУШЕНИЙ

Устанавливаются четыре основные системы разрывных нарушений: наиболее ранняя север-северо-западного до субмеридионального простирания; более молодая субмеридиональная система сбросов, контролирующая развитие позднепермско-триасовых рифтов; далее – система разломов северо-западного до субширотного направления и четвертая система северо-восточного простирания. Следует заме-



**Рис. 3.** Обработка исходного космоснимка в программе Spatial Analyst: 3D обработка.

**Fig. 3.** Treatment of the source space image in Spacial Analist application: 3D processing.



**Рис. 4.** Обработка исходного космоснимка в программе Spatial Analyst: выделение градиентных участков.

**Fig. 4.** Treatment of the source space image in Spacial Analist application: emphasis of gradient zones.

тить, что выявленные разрывные нарушения неоднократно “подновлялись” последующими подвижками, поэтому их относительный возраст определяется по проявлению наиболее интенсивной дислокации.

Разрывные нарушения север-северо-западного до субмеридионального простирания хорошо выражены в геофизических полях, прежде всего магнитном (см. рис. 6). Представлены зонами ре-

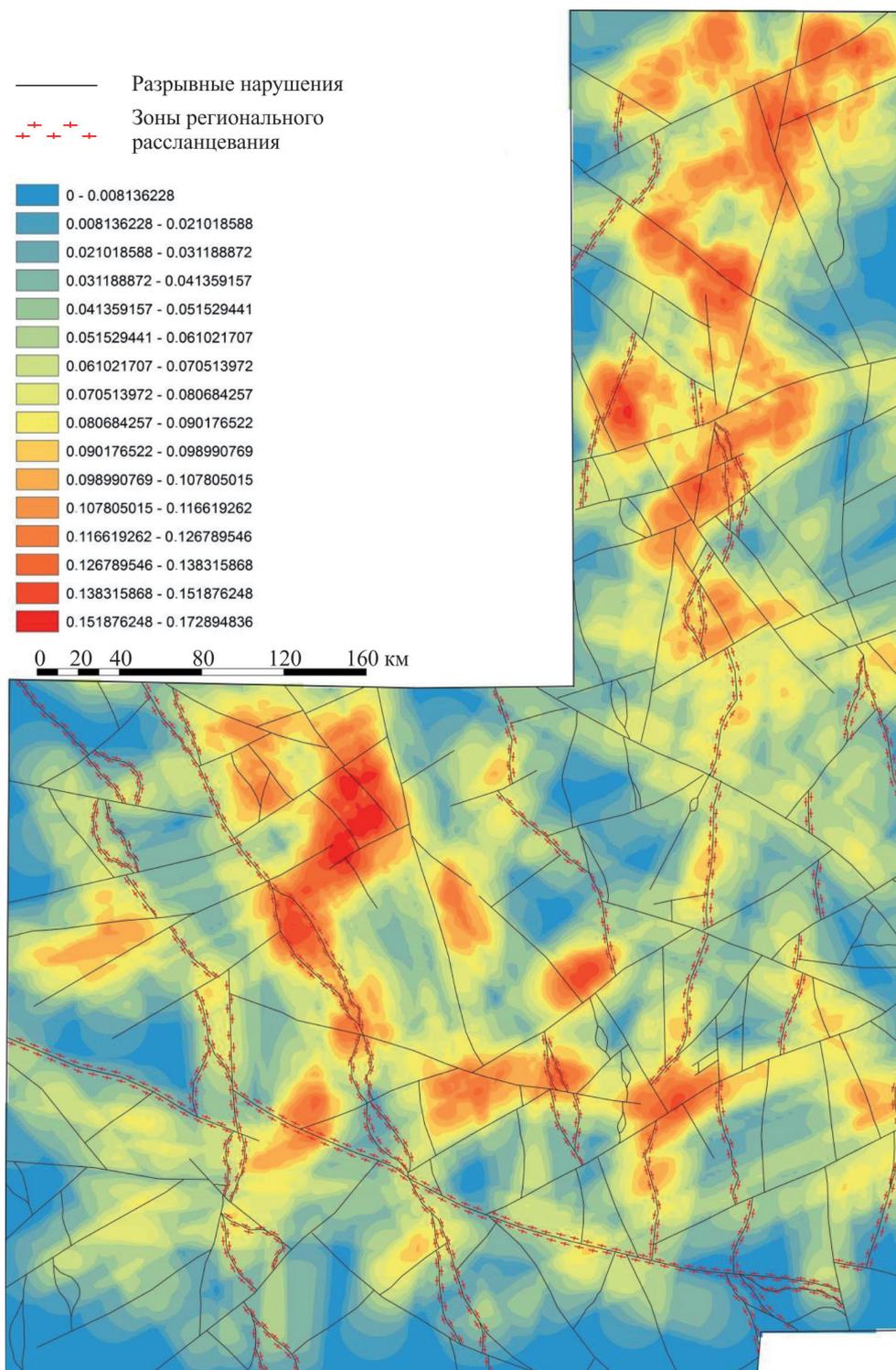
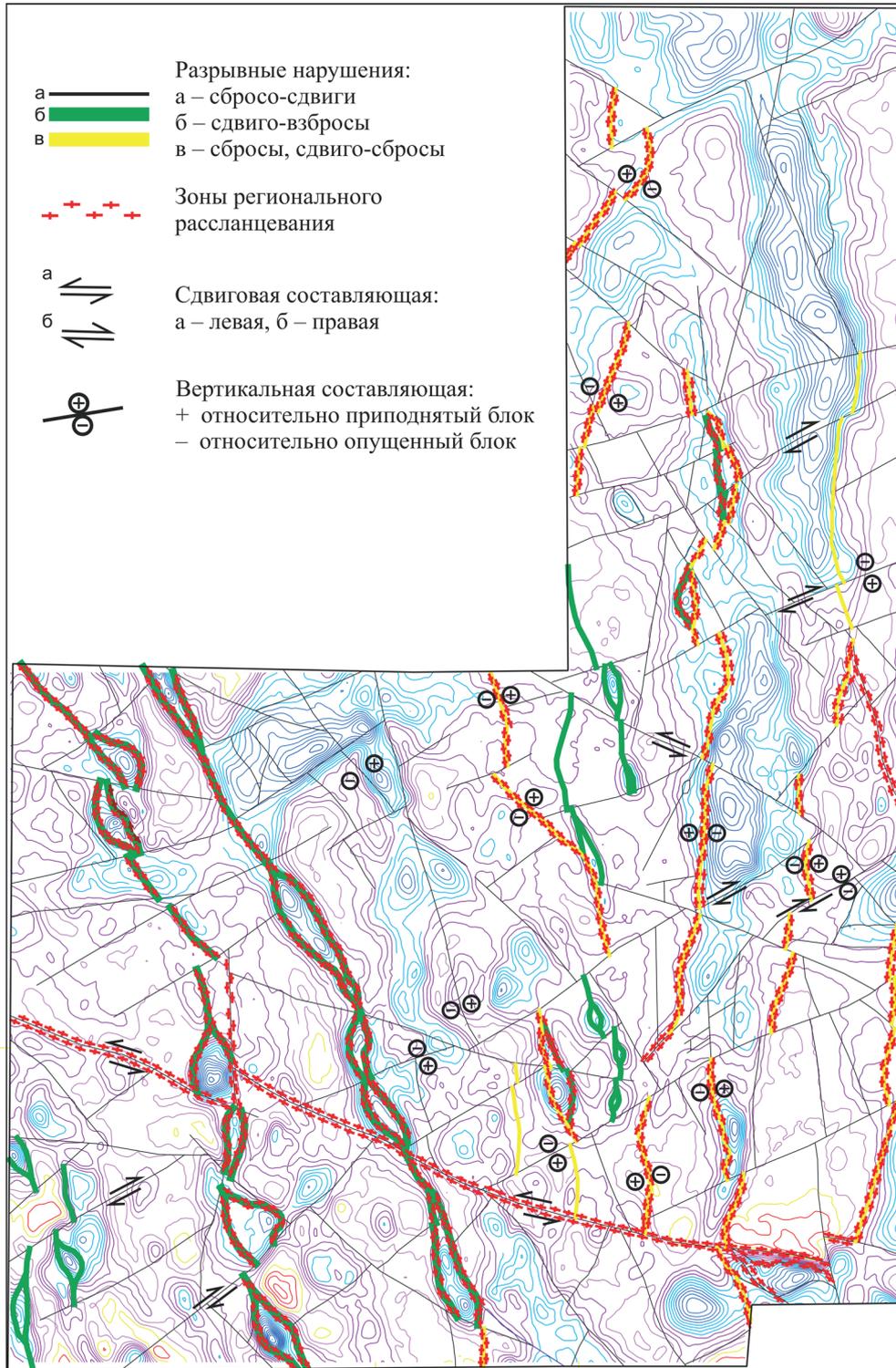


Рис. 5. Карта плотности разрывных нарушений (пакет Spatial Analyst).

Fig. 5. A map of fault density (Spatial Analyst application).

гионального расслабления (скв. Мамонтовская-1, Усть-Балыкская, Махнинская-2, Восточно-Ларломкинская-9). Характеризуются взбросовой и сдвиго-взбросовой кинематикой, нередко сопрово-

ждаясь телами серпентинизированных ультрабазитов и серпентинитового меланжа (скв. Лыхская Р-70 и Аленкинская-103). Максимально проявлены в западной части площади.



**Рис. 6.** Карта разрывных нарушений Юганско-Колтогорской площади на основе карты аномального магнитного поля.

Приведены изолинии аномального магнитного поля (красные — отрицательные значения, желтые — 0, фиолетовые — от 0 до 300 нТл, синие — от 300 нТл и выше).

**Fig. 6.** A map of faults of Yugan-Koltogor area on the basis of anomalous magnetic field.

The contours of the anomalous magnetic field are shown (red — negative values, yellow — zero, violet — from 0 nTl to 300, blue — from 300 nTl and more).

Вторая группа нарушений явно наложена на более ранние сдвиги-взбросы. Она представляет собой зоны регионального расщепления со значительной вертикальной составляющей смещения (сдвиги-сбросы позднепермско-триасового возраста), контролируемые рифтовые зоны, в частности Колтогорского рифта в восточной части площади (см. рис. 6).

Третья система разрывных нарушений представлена разломами северо-восточного простирания, проявляющихся через 30–80 км (см. рис. 5, 6), представляющих собой зоны кливажа и катаклаза (скв. Южно-Махнинская-3). Судя по смещениям геофизических аномалий, эта система разрывов характеризуется правосторонней преобладающей сбросо-сдвиговой составляющей с амплитудами горизонтального видимого смещения порядка 15–20 км.

Наиболее молодые разрывные нарушения северо-западного до субширотного простирания. Представляют собой протяженные зоны левосторонних сбросо-сдвигов, что устанавливается по смещениям аномалий магнитного поля с амплитудами горизонтального видимого смещения до 30–40 км (см. рис. 6). Наиболее значительное проявление этих дислокаций устанавливается в южной части площади в виде протяженной зоны расщепления, хорошо фиксирующейся как при дешифрировании МАКС, так и в геофизических полях.

Шесть наиболее крупных разломов Юганско-Колтогорской зоны, к которым приурочены и тела меланжированных ультрабазитов, показаны на геологической карте отдельным знаком (“глубинные разломы и региональные зоны расщепления”); они же, по всей видимости, наиболее интересны как возможные нефтеподводящие каналы при поисках месторождений глубинной нефти.

#### КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЛУБИННОГО СТРОЕНИЯ

Дополнительно было проведено компьютерное моделирование глубинного строения доюрского основания Юганско-Колтогорской зоны. Комплексное моделирование плотности геологической среды выполнено на двух участках (показаны прямоугольниками на рис. 1), в центре Юганской зоны и на севере Колтогорской зоны, в целях выявления плотностных неоднородностей, перспективных для поисков углеводородов. Моделирование выполнено на основании цифровых карт: аномального магнитного поля, аномального гравитационного поля, рельефа дневной поверхности, рельефа кристаллического фундамента, авторской геологической карты доюрского основания кристаллического фундамента. Кроме того, методика моделирования основана на использовании априорной геологической информации и на

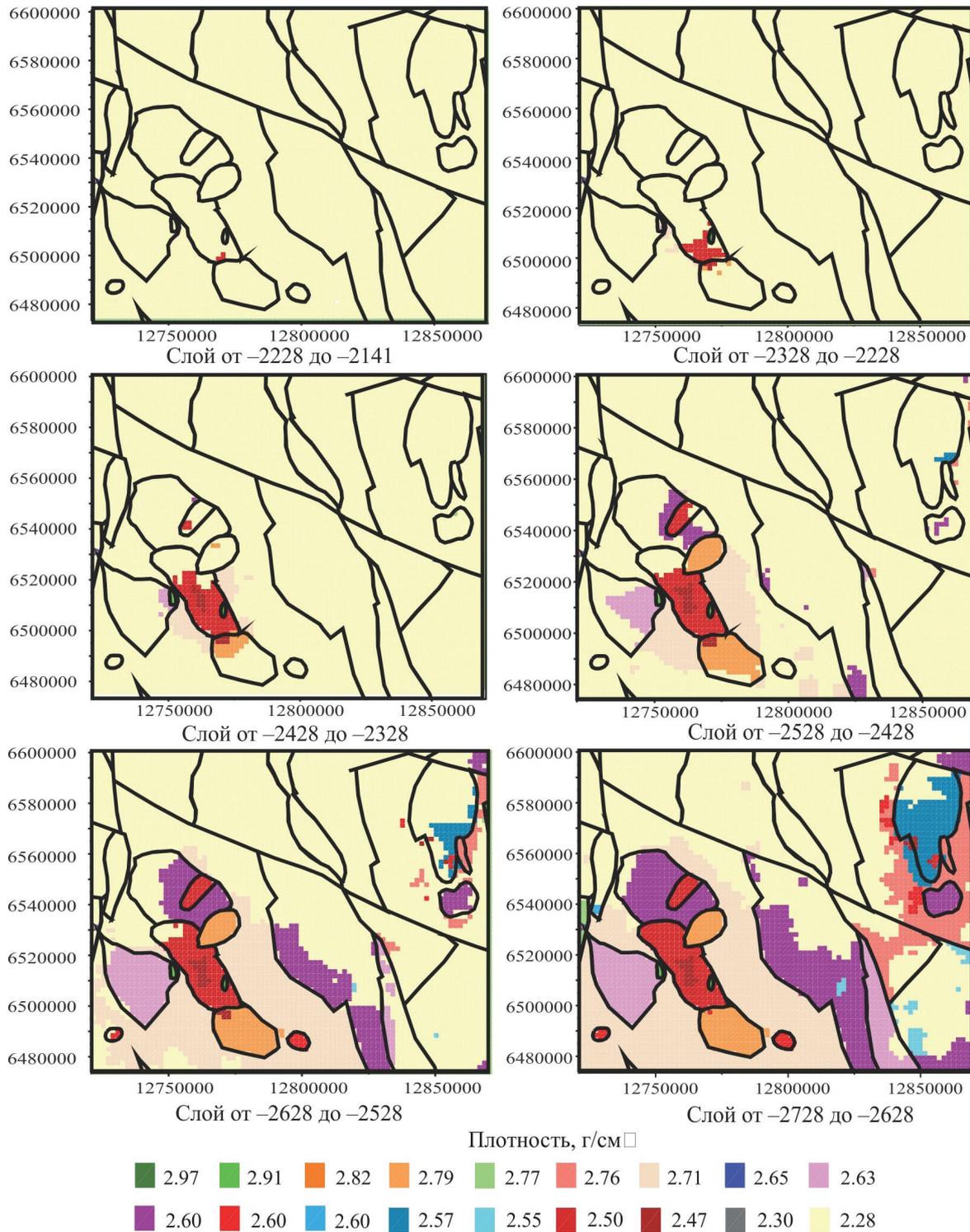
представлениях о генезисе тех или иных тектонических структур. Моделирование проведено в авторском [Костров и др., 2005; Kostrov, 2007; и др.] программном комплексе для интерпретации потенциальных полей. В процессе моделирования использовалась прямоугольная система координат с осью Z, направленной вверх, осью X – на восток, осью Y – на север.

#### Юганская зона

Компьютерная модель Юганской зоны<sup>1</sup> (рис. 7, 8) состоит из 153 218 элементарных ячеек в форме прямоугольного параллелепипеда, расположенных в 26 слоях. В каждом слое находится 5893 ячейки размером в плане 1802 × 1802 м. Слои распределены таким образом, чтобы учесть изменение рельефа дневной поверхности, который изменяется в пределах от 55 до 127 м, и рельефа кристаллического фундамента, который изменяется от –3228 до –2141 м. Таким образом, слои от 67 до 127 м имеют мощность 20 м; слой от 55 до 67 м имеет мощность 12 м; слой от –2141 до 55 м имеет мощность 2086 м; слой от –2228 до –2141 м имеет мощность 87 м; слой от –3228 до –2228 м имеет мощность 100 м; слой от –3500 до –3228 м имеет мощность 272 м; слой от –12500 до –3500 м имеют мощность 1 км. Остаточное поле Юганской зоны Западной Сибири на большей части площади моделирования изменяется от –0.5 до 0.5 мГал, за исключением краев планшета, что составляет 2.7% от размаха (от –26 до 12 мГал) наблюдаемого поля. Более точный подбор может быть оправдан только при наличии дополнительной информации как о плотностной неоднородности осадочного чехла, который в данном моделировании полагался однородным, так и при более подробных данных о плотности пород фундамента.

Большая отрицательная аномалия гравитационного поля в юго-западной части участка моделирования Юганской зоны привлекает к себе внимание тем, что эпицентр аномалии лежит в области массива гранитов на геологической карте (см. рис. 1). Как стало ясно в ходе моделирования, аномалию частично можно объяснить лишь необычайно легкими ( $2.50 \text{ г/см}^3$  на западе или  $2.57 \text{ г/см}^3$  на востоке планшета) нетипичными гранитами, подобными, например, гранитам месторождения Белый Тигр во Вьетнаме [Тимурзиев, 2010; Халилов, 2012]. На рис. 7 проиллюстрированы верхние 400 м модели под осадочным чехлом, где введены указанные выше разуплотненные породы. Кро-

<sup>1</sup> На рис. 7–9 участки моделирования приведены в системе координат Гаусса–Крюгера для зоны 12, тогда как на рис. 1 показаны географические координаты. Для удобства сопоставления геологических формаций (см. рис. 1) плотностным свойствам модели на рис. 7–9 нанесены контуры формаций.

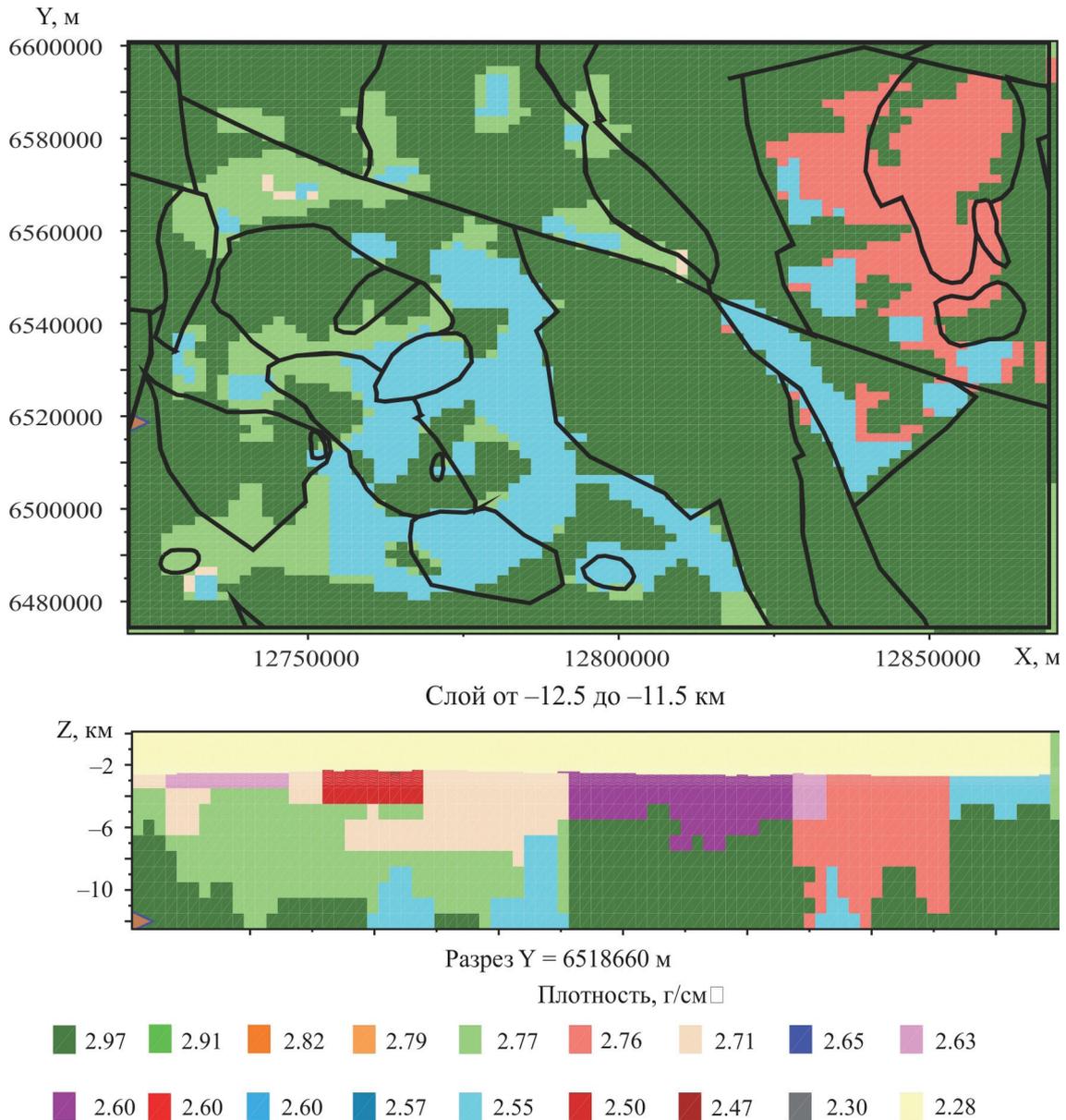


**Рис. 7.** Верхние 400 м под осадочным чехлом плотностной модели Юганской зоны Западной Сибири.

Показано проявление с глубиной разуплотненных пород. Различные породы с одинаковой плотностью (2.60 г/см<sup>3</sup>) обозначены разным цветом. Контуры геологических формаций участка моделирования (см. рис. 1) выделены жирными чёрными линиями.

**Fig. 7.** The upper 400 m under a sedimentary cover of the density model of Yugan zone of West Siberia.

Different rocks with the same density (2.60 g/cm<sup>3</sup>) are shown in different colour. Contours of geological formation (see Fig. 1) are shown in bold black for the modeling area.



**Рис. 8.** Плотностная модель Юганской зоны Западной Сибири.

На верхней части показан слой модели на глубине от 12.5 до 11.5 км. На нижней части изображено сечение модели, пересекающее разуплотненные граниты (положение сечения отмечено фиолетовым треугольником у левой границы верхней части рисунка). Сиалическая кора (2.55 г/см<sup>3</sup>) выделена голубым цветом. Различные породы плотностью (2.60 г/см<sup>3</sup>) обозначены разным цветом.

**Fig. 8.** The density model of Yugan zone of West Siberia.

On the upper part were shown the model layer at the depth from 12.5 to 11.5 km. On the lower part is shown a model cross-section going through the granite decompaction probable area (the position of the cross-section is shown by purple triangle at the left border of the upper part of the figure). Sialic rock (2.55 g/cm<sup>3</sup>) is shown in light blue colour. Different rocks with the same density (2.60 g/cm<sup>3</sup>) are shown in different colour.

ме того, наблюдаемые аномалии потребовали введения легкой (плотность 2.55 г/см<sup>3</sup>) сиалической коры на глубине 12.5–8.5 км (см. рис. 8) и расширения слоя с плотностью 2.71 г/см<sup>3</sup>, который изображает на эрозионном срезе фундамента глинистые и кремнистые сланцы, песчаники, гравелиты

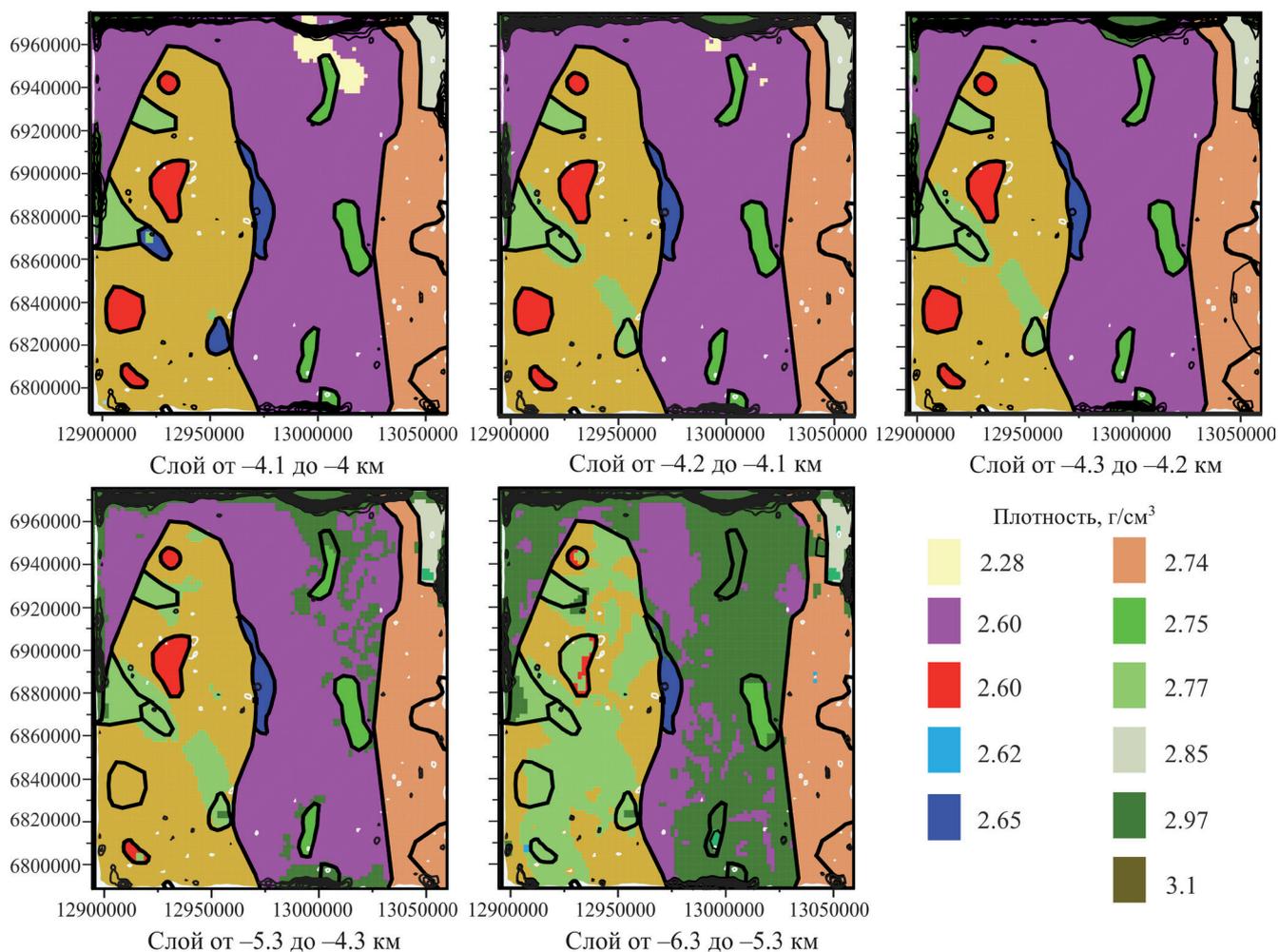
и конгломераты верхнего девона–нижнего карбона. Кроме этого, в слоях модели, прилегающих к эрозионному срезу фундамента, для компенсации локальных отрицательных аномалий введены зоны разуплотнения в гранитах (2.47 г/см<sup>3</sup>) и базальтах (2.55 г/см<sup>3</sup>), а в юго-восточном углу планшета (см.

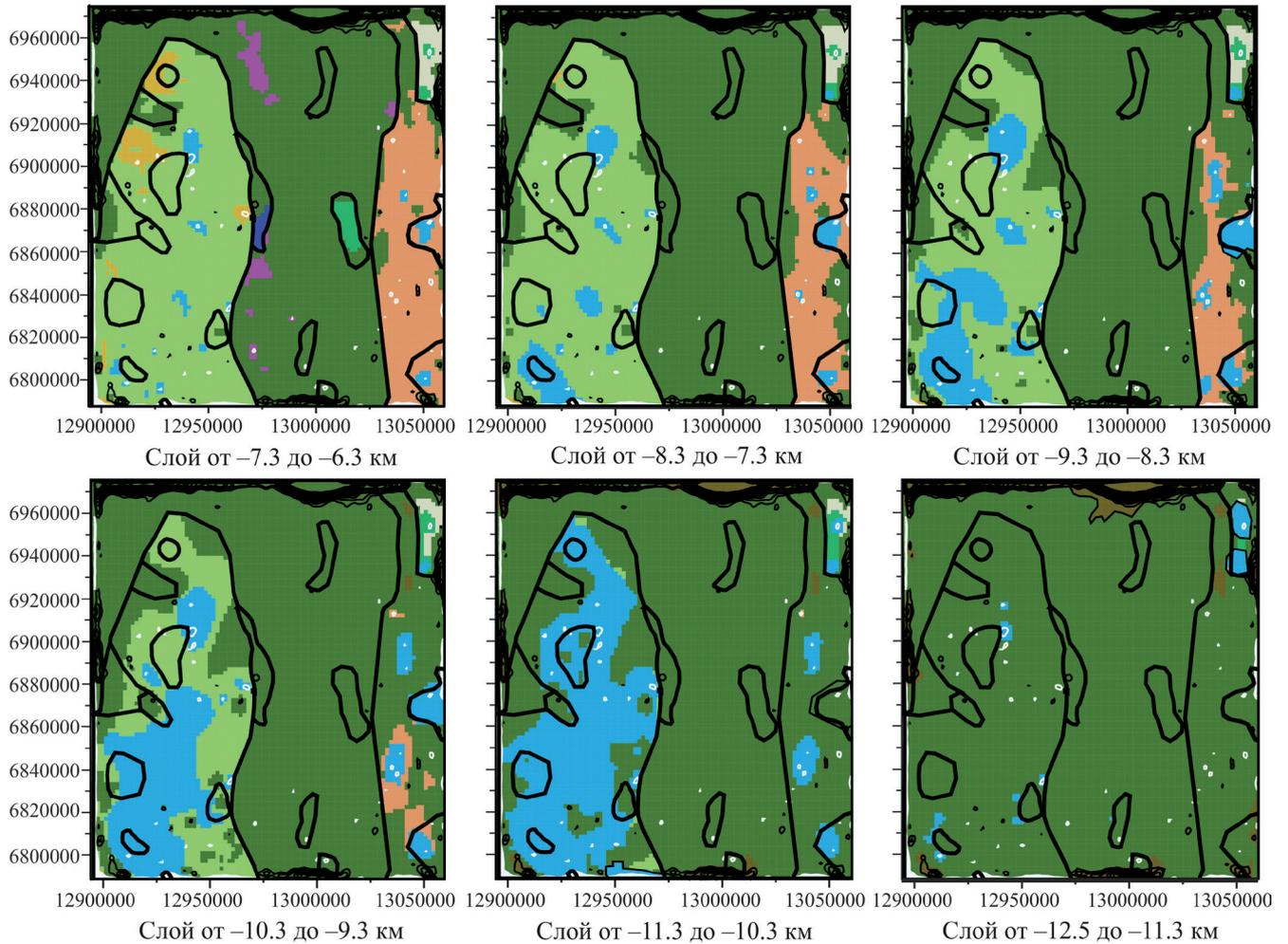
рис. 1) массив базальтов отличается очень малой ( $2.55 \text{ г/см}^3$ ), по сравнению с остальными массивами базальтов ( $2.60 \text{ г/см}^3$ ), плотностью. Массивы серпентинизированных ультрабазитов моделировались объектами различной пониженной плотности от типичной  $2.65 \text{ г/см}^3$  до очень малой  $2.55 \text{ г/см}^3$  и промежуточными  $2.60, 2.63 \text{ г/см}^3$ , что соответствует предположению о различной степени серпентинизации этих пород и подтверждается данными изучения керн скважин на этой площади [Иванов и др., 2018]. Позднедевонские андезиты, базальты и их туфы ( $2.77 \text{ г/см}^3$ ) в модели выходят на поверхность кристаллического фундамента в центре западной окраины участка моделирования. Они перекрыты глинистыми и кремнистыми сланцами, песчаниками, гравелитами и конгломератами верхнего девона–нижнего карбона ( $2.71 \text{ г/см}^3$ ) и распространяются до границы метаморфических образований на северо-востоке (см. рис. 1).

### Колтогорская зона

Модель Колтогорской зоны (рис. 9) состоит из 289800 ячеек, расположенных в 30 слоях. Размер

ячеек в плане составляет  $1802 \times 1802 \text{ м}$ , а с глубиной меняется от слоя к слою. Слои 1 лежит в диапазоне Z-координат от  $-2200$  до  $15 \text{ м}$ ; слои от  $-4300$  до  $-2200 \text{ м}$  имеют мощность  $100 \text{ м}$ , что позволяет отразить характер изменения рельефа кристаллического фундамента области моделирования. Слои от  $-11300$  до  $-4300 \text{ м}$  имеют мощность  $1 \text{ км}$ ; слой от  $-12500$  до  $-11300 \text{ м}$  имеет мощность  $1.2 \text{ км}$ . Моделируемое аномальное гравитационное поле Колтогорской зоны Западной Сибири на большей части планшета подобрано с точностью  $0.5 \text{ мГал}$ , что составляет около  $1\%$  от размаха наблюдаемого поля и с точностью от  $0.5$  до  $1 \text{ мГал}$  (менее  $2\%$  от размаха аномалии) в ограниченных областях, за исключением приграничных частей площади моделирования, где точный подбор неосуществим. Рельеф поверхности кристаллического фундамента Колтогорского участка моделирования постепенно понижается с юго-востока на северо-запад и север от  $2.2 \text{ км}$  до примерно  $4 \text{ км}$  глубины. Геологические формации показаны жирными контурами, изолинии остаточного поля менее  $-1 \text{ мГал}$ . На рис. 9 представлена структура модели начиная от  $4 \text{ км}$  глубины. Геологические формации пока-





**Рис. 9.** Послойная плотностная модель Колтогорской зоны Западной Сибири от глубины 12.5 до 4.0 км.

Жирными контурами показаны геологические структуры геологической карты (см. рис. 1). Изолинии остаточного аномального магнитного поля менее  $-1$  мГал выделены белым, а изолинии более  $1$  мГал – черным цветом. Различные породы одинаковой плотности ( $2.60$ ) обозначены разным цветом.

**Fig. 9.** Layer-by-layer model of the Koltogor zone of West Siberia from the depth of 12.5 to 4.0 km.

In thick black contours were shown geological structures from the geological map (see Fig. 1). The isolines of remanent anomalous magnetic field less than  $-1$  mGal are shown in white and the isolines greater than  $1$  mGal are shown in black. Different rocks with the same density ( $2.60$  g/cm<sup>3</sup>) are shown in different colour.

заны жирными контурами, изолинии остаточного поля менее  $-1$  и  $+1$  мГал изображены белыми линиями, а более  $+1$  мГал – черными, все расстояния в плане приведены в метрах. Однако из-за малого диаметра некоторые изолинии сливаются в почти точечные объекты, за исключением краев планшета, где поле модели не компенсирует наблюдаемое поле. То, что на большей части площади моделирования значения остаточного поля, которые больше  $1$  и меньше  $-1$ , практически отсутствуют, говорит о хорошем качестве подбора модельных источников. Плотностная модель Колтогорской зоны представляет земную кору до глубины 12.5 км. По всей площади моделирования самый нижний слой модели от 12.5 до 11.3 км глубины почти на

100% представлен плотными ( $2.97$  г/см<sup>3</sup>) породами, среди которых легкая ( $2.62$  г/см<sup>3</sup>) сиалическая кора появляется лишь на некоторых малых участках (см. рис. 9, часть 2). Слоем выше, от 11.3 до 10.3 км глубины, сиалическая кора занимает уже обширные площади в западной половине планшета. В диапазоне глубин от 10.3 до 6.3 км над легкой сиалической корой в западной части планшета смоделирован слой более тяжелых ( $2.77$  г/см<sup>3</sup>) пород. В восточной же части планшета сиалическую кору при продвижении с глубины 11.3 км вверх до глубины 5.3 км сменяют породы плотностью  $2.74$  г/см<sup>3</sup>, которые, в свою очередь, поднимаются вплоть до глубины 3.7 км на севере и до глубины 2.5 км на юге планшета.

В центральной части площади моделирования участка Колтогорской зоны под осадочным чехлом залегают базальты поздней перми–раннего триаса ( $2.6 \text{ г/см}^3$ ), слагающие верхнюю часть Колтогорского грабена мощностью порядка 2.5–3 км. Глубже, начиная от 4.3 км и ниже, площадь грабена сложена тяжелыми ( $2.97 \text{ г/см}^3$ ) породами, вероятнее всего габбро. Местами вдоль границ грабена отмечаются тела ультрабазитов ( $2.65 \text{ г/см}^3$ ). В восточной части планшета песчаники верхнего триаса образуют слой мощностью до 500 м, постепенно погружающийся с юга на север, под которым расположен массив плотных ( $2.74 \text{ г/см}^3$ ) пород терригенно-карбонатной толщи среднего палеозоя. Эти образования начиная с глубины 5.3 км сменяет легкая ( $2.62 \text{ г/см}^3$ ) сиалическая кора, которая, однако, представляет собой не сплошной слой, а отдельные, до 5 км мощности, поднятия, своеобразные “скалы”, покрывающие в общей сложности лишь незначительную часть планшета к востоку от грабена. Сверху они ограничены терригенно-карбонатной толщей, а снизу – тяжелыми ( $2.97 \text{ г/см}^3$ ) породами. Особенностью представленной модели участка Колтогорской зоны является наличие сиалической коры (см. рис. 9, голубой цвет,  $2.62 \text{ г/см}^3$ ) к западу от грабена под андезитами, базальтами и их туфами верхнего девона–нижнего карбона ( $2.77 \text{ г/см}^3$ ), перекрытыми более легкими ( $2.71 \text{ г/см}^3$ ) глинистыми и кремнистыми сланцами, песчаниками, гравелитами, конгломератами карбона. На геологической карте выход на эрозионный срез кристаллического фундамента (см. рис. 1) андезитов, базальтов и их туфов с подчиненными пачками песчаников и известняков верхнего девона можно видеть лишь на незначительном участке на западной границе участка моделирования Колтогорской зоны на широте около  $61.5^\circ$ . Обращает на себя внимание небольшой выход этой формации на западном фланге грабена (см. рис. 1), что позволило предположить, что это – выступы более массивного тела, что и подтвердило моделирование (см. рис. 9). Включения габбро на Колтогорском участке моделирования (см. рис. 1, рис. 9) представлены в модели объектами небольшой для габбро плотности  $2.75 \text{ г/см}^3$ , мощностью около 3 км на юге и около 1.6 км на севере, имеющие сложный рельеф верхней и нижней поверхностей.

Граниты в западной части участка моделирования, т. е. к западу от грабена, лежащие среди глинистых и кремнистых сланцев, песчаников, гравелитов и конгломератов верхнего девона–нижнего карбона (см. рис. 1, рис. 9) моделируются телами пониженной плотности ( $2.60 \text{ г/см}^3$ ) мощностью около 3 км со сложным рельефом верхней и нижней поверхностей.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Структурно-вещественные комплексы доюрского основания Юганско-Колтогорской зоны характеризуются блоковым строением с развитыми системами разрывных нарушений. Для выделения разрывных нарушений использовались как дистанционные методы (дешифрирование МАКС, данные геофизики), так и результаты документации керн скважин. На основе установленных линеаментов, каждый из которых можно интерпретировать как разрывную структуру, построена цифровая карта плотностей линеаментов, что позволило усреднить участки параллельной трещиноватости и выделить осевые зоны нарушений. На построенной карте Юганско-Колтогорской площади устанавливаются четыре основные системы разрывных нарушений: наиболее ранняя, северо-северо-западного до субмеридионального простирания; более молодая, субмеридиональная, система сбросов, контролирующая развитие пермско-триасовых рифтов; далее – система разломов северо-западного до субширотного направления и четвертая система северо-восточного простирания. Выявленные разрывные нарушения неоднократно “подновлялись” последующими подвижками, поэтому их относительный возраст определяется по проявлению наиболее интенсивных дислокаций. Шесть наиболее крупных разломов Юганско-Колтогорской зоны, к которым приурочены и тела меланжированных ультрабазитов показаны на геологической карте отдельным знаком (“глубинные разломы и региональные зоны рассланцевания”); они же наиболее интересны как возможные нефтеподводящие каналы при поисках месторождений глубинной нефти.

Комплексное моделирование плотности геологической среды Юганско-Колтогорской зоны Западной Сибири выполнено на двух участках, в центре Юганской зоны и на севере Колтогорской зоны, в целях выявления плотностных неоднородностей, перспективных для поисков углеводородов. Моделирование выполнено на основании цифровых карт: аномального магнитного поля, аномального гравитационного поля, рельефа дневной поверхности, рельефа кристаллического фундамента, авторской геологической карты доюрского основания кристаллического фундамента. Кроме того, методика моделирования основана на использовании априорной геологической информации и на представлениях о генезисе тех или иных тектонических структур. Моделирование проведено в авторском [Н.П. Костров и др., 2005; и др.] программном комплексе для интерпретации потенциальных полей.

В центральной части площади моделирования участка Колтогорской зоны под осадочным чехлом залегают базальты верхней перми–нижнего триаса ( $2.60 \text{ г/см}^3$ ), слагающие верхнюю часть Колтогорского грабена. Ниже, начиная с глубины 4.3 км, площадь грабена сложена тяжелыми породами, вероятнее всего габбро. В восточной части планшета песчаники верхнего триаса образуют слой в 500 м, под которым расположен массив плотных пород терригенно-карбонатной толщи среднего палеозоя. Эти образования с глубины 5.3 км сменяет легкая ( $2.62 \text{ г/см}^3$ ) сиалическая кора. Особенностью представленной модели участка Колтогорской зоны является наличие сиалической коры под андезитами, базальтами и их туфами верхнего девона–нижнего карбона ( $2.77 \text{ г/см}^3$ ), перекрытыми более легкими ( $2.71 \text{ г/см}^3$ ) глинистыми и кремнистыми сланцами, песчаниками, гравелитами, конгломератами карбона.

Участок моделирования Юганской зоны примечателен большой отрицательной аномалией гравитационного поля, которую удалось объяснить частично очень легкими ( $2.50 \text{ г/см}^3$  на западе или  $2.57 \text{ г/см}^3$  на востоке планшета) массивами гранитов, подобных гранитам месторождения Белый Тигр во Вьетнаме, а частично залеганием легкой (относительная плотность  $2.55 \text{ г/см}^3$ ) сиалической коры на глубине 12.5–8.5 км и расширением слоя с относительной плотностью  $2.63 \text{ г/см}^3$ , который представляет на эрозионном срезе фундамента сланцы, песчаники, гравелиты и конгломераты верхнего девона–нижнего карбона. Кроме этого, в слоях модели, прилегающих к эрозионному срезу фундамента, для компенсации локальных отрицательных аномалий введены зоны разуплотнения в гранитах ( $2.47 \text{ г/см}^3$ ) и базальтах ( $2.55 \text{ г/см}^3$ ), а в юго-восточном углу планшета массив базальтов представлен очень малой ( $2.55 \text{ г/см}^3$ ), по сравнению с остальными массивами базальтов ( $2.60 \text{ г/см}^3$ ) плотностью. Небольшие отрицательные, порядка 1 мГал, остаточные аномалии нивелировались путем замены сверху вниз тяжелых ( $2.77 \text{ г/см}^3$ ) пород более легкими ( $2.71 \text{ г/см}^3$ ). Такой подход показал свою эффективность в подборе. Другой особенностью модели данной площади является назначение массивам серпентинизированных гипербазитов различной отрицательной относительной плотности, что соответствует предположению о различной степени серпентинизации этих пород.

Результат моделирования показывает, что в плане нефтеносности следует обратить особое внимание на вероятные участки разуплотнения гранитов Юганской зоны Западной Сибири.

За помощь и обсуждение результатов авторы благодарят В.А. Волкова (НАЦ РН им. В.И. Шпильмана).

Исследования проводятся при поддержке Российского научного фонда (проект № 16-17-10201).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Иванов К.С., Берзин С.В., Вахрушева Н.В., Костров Н.П., Погромская О.Э. (2018) Геологическое строение доюрского основания Юганско-Колтогорской зоны Западной Сибири. *Литосфера*, **18**(6), 839-858.
- Костров Н.П., Кормильцев В.В., Федоров Ю.Н. (2005) Система 3D интерпретации результатов гравиманнитных наблюдений с целью геологического картирования доюрского комплекса Западной Сибири. *Горн. ведомости*, (1), 57-61.
- Kostrov N.P. (2007) Calculation of magnetic anomalies caused by 2D bodies of arbitrary shape with consideration of demagnetization. *Geophys. Prospect.* **55**(1), 91-115.
- Тимурзиев А.И. (2010) Анализ трещинных систем осадочного чехла и фундамента месторождения Белый тигр (Вьетнам). *Экспозиция нефть газ*, **5**(11), 11-20. <http://www.geokniga.org/bookfiles/geokniga-analiz-treshchinnyh-sistem-osadochnogo-chehla-fundamenta-mestorozhdeniya-belyy-tigr.pdf>
- Халимов Ю.Э. (2012) Промышленная нефтегазоспособность фундамента в гранитоидных коллекторах. *Нефтегазовая геология. Теория и практика*, **7**(4), [http://www.ngtp.ru/rub/9/58\\_2012.pdf](http://www.ngtp.ru/rub/9/58_2012.pdf).

## REFERENCES

- Ivanov K.S., Berzin S.V., Vakhrusheva N.V., Kostrov N.P., Pogromskaya O.E. (2018) Geological structure Pre-Jurassic basement of Yugan-Koltogor zone of West Siberia. *Litosfera*, **18**(6), 839-858. (In Russian)
- Kostrov N.P., Kormil'tsev V.V., Fedorov Yu.N. (2005) 3D interpretation of the results of gravity observations for geological mapping of the Pre-Jurassic complex of Western Siberia. *Gornye vedomosti*, (1), 57-61. (In Russian)
- Kostrov N.P. (2007) Calculation of magnetic anomalies caused by 2D bodies of arbitrary shape with consideration of demagnetization. *Geophys. Prospect.*, **55**(1), 91-115.
- Timurzaev A.I. (2010) Analysis of fractured systems of sedimentary cover and foundation of the White tiger Deposit (Vietnam). *Expos. Neft' gas*, **5**(11), 11-20. <http://www.geokniga.org/bookfiles/geokniga-analiz-treshchinnyh-sistem-osadochnogo-chehla-fundamenta-mestorozhdeniya-belyy-tigr.pdf> (In Russian)
- Khalimov Yu.E. (2012) Industrial oil and gas potential of the Foundation in granitoid reservoir. *Neftgaz Geol. Teor., praktika*, **7**(4), [http://www.ngtp.ru/rub/9/58\\_2012.pdf](http://www.ngtp.ru/rub/9/58_2012.pdf) (In Russian)