

УДК 553.98+001.891.57

DOI 10.31087/0016-7894-2021-5-75-91

## Плотностное моделирование осадочного чехла и верхней части фундамента Средне- и Нижневолжской нефтегазоносных областей и их обрамления на базе технологических средств ГИС INTEGR0

© 2021 г. | Н.К. Фортунатова, В.А. Спиридонов

ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский геологический нефтяной институт», Москва, Россия; fortunatova@vnigni.ru; victor@geosys.ru

Поступила 24.05.2021 г

Доработана 14.06.2021 г.

Принята к печати 18.06.2021 г.

**Ключевые слова:** *гравиразведка; плотностное 3D-моделирование; редукция гравитационного поля; структурная модель осадочного чехла; дополнительные критерии регионального прогноза на углеводороды.*

**Аннотация:** В статье рассмотрены вопросы построения плотностных моделей Средне- и Нижневолжской нефтегазоносных областей и их обрамления на базе технологических средств ГИС INTEGR0. Представлен комплексный подход к плотностному моделированию, состоящий в последовательной реализации двух моделей: земной коры и верхней части мантии до глубины 70 км; осадочного чехла и верхней части кристаллического фундамента до глубины 10 км. Гравитационный эффект от первой модели полностью соответствует наблюдаемому гравитационному полю. В процессе ее создания были уточнены основные структурные разделы консолидированной коры и осадочного чехла, на которых происходит значимый скачок физических свойств (плотности, скорости, намагниченности и др.). Проведенная на основе первой модели редукция поля силы тяжести позволила выполнить подбор плотностей для модели осадочного чехла. Показано, что размах редуцированного гравитационного поля Средне- и Нижневолжской нефтегазоносных областей в полтора раза превышает размах наблюдаемого. На сечениях плотностной модели осадочного чехла сопоставлено распределение плотности с пространственным положением известных на площади месторождений углеводородов. Определены структурные и плотностные критерии, которые можно использовать в качестве дополнительных при проведении регионального прогноза на углеводороды.

*Для цитирования:* Фортунатова Н.К., Спиридонов В.А. Плотностное моделирование осадочного чехла и верхней части фундамента Средне- и Нижневолжской нефтегазоносных областей и их обрамления на базе технологических средств ГИС INTEGR0 // Геология нефти и газа. – 2021. – № 5. – С. 75–91. DOI: 10.31087/0016-7894-2021-5-75-91.

## Density modelling of sedimentary cover, upper part of the basement using GIS INTEGR0 technologies: Sredny and Nizhnevolzhsky Petroleum Regions and neighbouring areas

© 2021 | N.K. Fortunatova, V.A. Spiridonov

All-Russian Research Geological Oil Institute, Moscow, Russia; fortunatova@vnigni.ru; victor@geosys.ru

Received 24.05.2021

Revised 14.06.2021

Accepted for publication 18.06.2021

**Key words:** *gravimetry; 3D density modelling; gravity field reduction; structural model of sedimentary cover; further criteria for regional hydrocarbon forecasts.*

**Abstract:** The paper discussed density modelling of the Sredne-Nizhnevolzhsky Petroleum Region and its neighbouring areas on the basis of the GIS INTEGR0 technologies. Integrated approach to density modelling comprising the sequential realization of two models as follows: Earth's crust and upper part of the mantle up to the depth of 70 km; sedimentary cover and upper part of the crystalline Basement up to the depth of 10 km. Gravity response from the first model matches the observed gravity field. During the course of this model creation, the main structural constituents of consolidated crust and sedimentary cover, which the meaningful jump of physical properties (density, velocity, magnetisation, etc.) occurs at, were revised. Gravity field reduction conducted on the basis of the first model allowed selecting densities for the model of sedimentary cover. The authors show that the range of the reduced gravity field over the Sredne-Nizhnevolzhsky Petroleum Region is one and a half times greater than the observed range. In the sections of the density model of sedimentary cover, density distribution was compared with the spatial position of hydrocarbon field known in the region. Structural and density-related criteria, which can be used as complementary in regional prediction of hydrocarbons are determined.

*Fortunatova N.K., Spiridonov V.A. Density modelling of sedimentary cover, upper part of the basement using GIS INTEGR0 technologies: Sredny and Nizhnevolzhsky Petroleum Regions and neighbouring areas. Geologiya nefi i gaza. 2021;(5):75–91. DOI: 10.31087/0016-7894-2021-5-75-91. In Russ.*

## Введение

Решение задачи регионального прогноза УВ для крупных фрагментов нефтегазоносных провинций сопряжено с обработкой больших объемов информации, требует комплексного подхода и невозможно без применения новейших цифровых технологий. В последние десятилетия наметился тренд, при котором геоинформационные системы активно объединяются со специализированными пакетами обработки. Ведущие разработчики геолого-геофизического софта пишут отдельные модули под распространенные ГИС-системы (например, модуль TARGET for ARCGIS от компании GEOSOFT), которые обеспечивают устойчивый импорт/экспорт исходных данных, результатов обработки и моделирования.

ГИС INTEGRO (ФГБУ «ВНИГНИ») изначально развивалась как полнофункциональная ГИС, ориентированная на решение прикладных задач в геологии и геофизике. Она обеспечивает свободное оперирование разнородной информацией (карты, разрезы, 1D, 2D, 3D-регулярные и нерегулярные сети, скважины) и позволяет осуществлять над ней любые пространственные операции. Система обладает широким спектром возможностей геофизического и структурного моделирования, поддерживает создание объемных плотностных моделей и комплексных моделей глубинного строения территории.

В рамках создания геолого-геофизических моделей отложений палеозоя юго-запада Волго-Уральской нефтегазоносной провинции авторами статьи были выполнены работы по плотностному моделированию осадочного чехла и верхней части кристаллического фундамента Средне- и Нижневолжской нефтегазоносных областей и их обрамления.

В современном структурном плане территория отвечает зоне сочленения Воронежской и Волго-Уральской антеклиз с северо-западным бортом Прикаспийской впадины. По представлениям С.В. Богдановой, кристаллический фундамент этой части Восточно-Европейской платформы сформировался в архее – раннем протерозое в результате объединения двух крупных сегментов земной коры: Волго-Уралии и Сарматии [1]. На этом месте в раннем рифее по раннепротерозойскому шву начинает развиваться внутриконтинентальный Пачелмский рифт (стадия авлакогена), который, соединяясь с рифтами, расположенными в пределах Прикаспийской впадины, формировал трехлучевую систему [2–4].

В процессе дальнейшей геологической истории территория подвергалась многократной тектонической активизации с существенной перестройкой структурного плана осадочного чехла и фундамента ([4, 5] и др.). Об этом свидетельствуют многочисленные перерывы в осадконакоплении, сложные, разнонаправленные системы валообразных поднятий и впадин, наличие инверсионных структур,

большие перепады глубины залегания кристаллического фундамента.

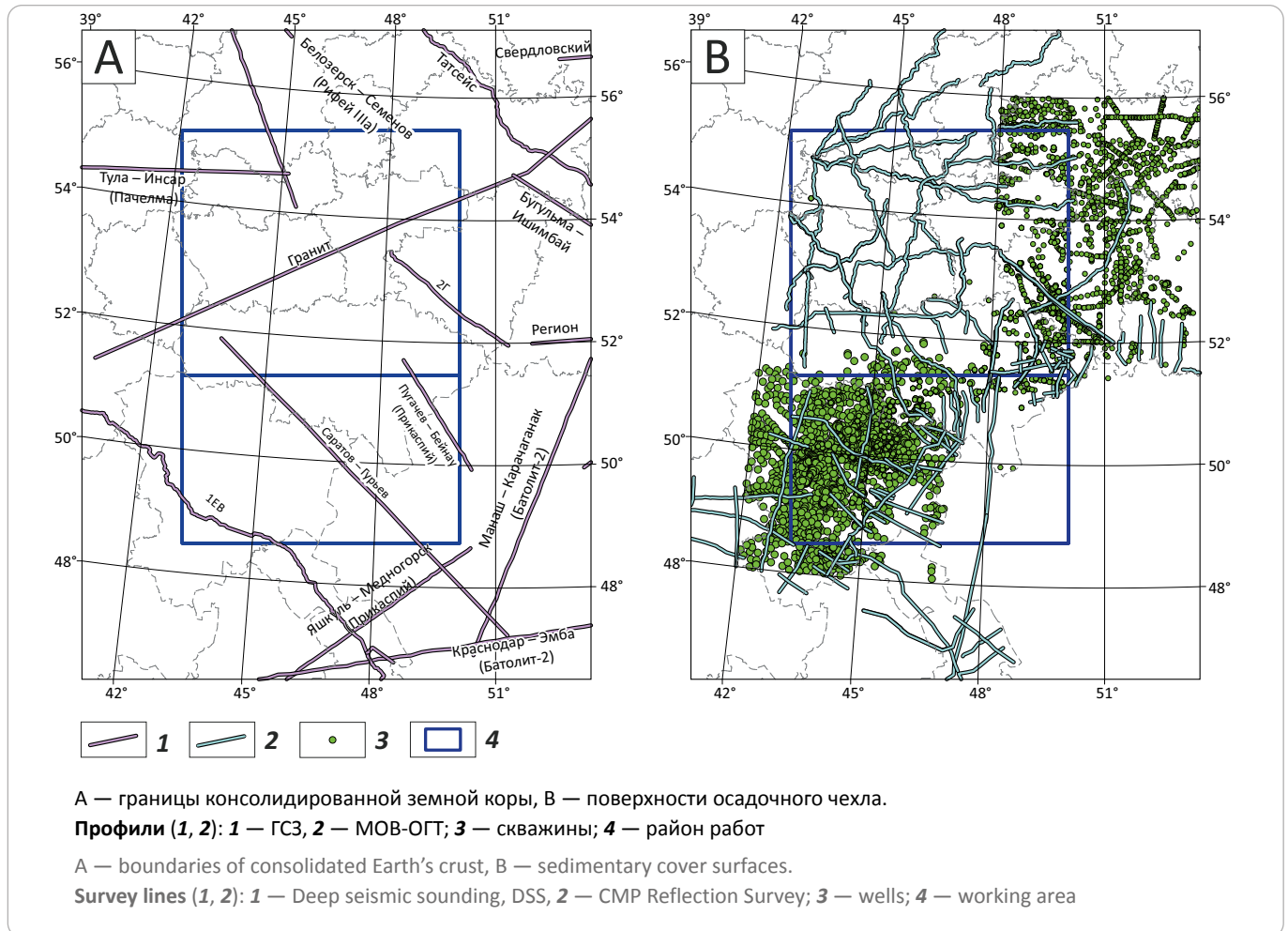
Последняя перестройка связана с фазой альпийского тектоногенеза. По уже существующим границам и ослабленным зонам произошло подновление планов разных структурных этажей в пределах Жигулево-Пугачевского свода, Рязано-Саратовского прогиба, Приволжской моноклинали, Бузулукской впадины и др. Эти изменения особенно заметны в Жигулевской надвиговой зоне [6], Сурско-Камской и Сурско-Мокшинской сдвиговых зонах [7, 8].

Исследуемая территория перспективна на нефть и газ и достаточно хорошо, но неравномерно изучена геофизическими методами и бурением. В ней открыто более 400 месторождений УВ, преобладающее большинство которых по рангу относится к категории мелких, значительно реже – средних. Наличие большого числа эталонов (месторождений) дало возможность рассмотреть их образы в сечениях результирующей плотностной модели осадочного чехла и фундамента и установить дополнительные критерии при проведении регионального прогноза на УВ.

Глубина плотностного моделирования нефтегазоносных территорий ограничивается максимальной глубиной залегания подошвы осадочного чехла или одной из структурных поверхностей внутри него и не превышает 10 км (в редких случаях глубже). Поэтому категорически нельзя осуществлять подбор плотностной модели осадочного чехла к наблюдаемому полю силы тяжести. Необходимо провести дополнительную редуциацию с вычитанием из него гравитационного эффекта от не вошедшей в модель мощности земной коры, а также верхов мантии. В работе [9], рассматривающей варианты проведения подобного редуцирования, отмечается, что распространенные методы (фильтрационные и аппроксимационные) имеют определенные ограничения и не позволяют в полной мере выделить поле от слоя осадочный чехол – верхняя часть консолидированной коры. Авторами статьи был предложен подход, в основе которого лежит создание плотностной 3D-модели всей земной коры и верхней части мантии с последующим расчетом гравитационного эффекта от ее фрагмента до заданной глубины.

Методика и технология плотностного 3D-моделирования земной коры подробно изложены в работе [10] и предполагают последовательную генерацию нескольких моделей: ретроспективной, базовой, избыточной, суммарной. При этом последняя модель должна полностью удовлетворять априорным представлениям имеющейся ретроспективной информации о глубинном строении, а ее гравитационный эффект должен быть равен наблюдаемому (редуцированному) полю силы тяжести с точностью до константы.

**Рис. 1.** Сейсмическая и скважинная изученность, используемая для формирования структурной основы плотностных моделей  
**Fig. 1.** Exploration maturity used to create a structural framework of density models — seismics and drilling



Структурная основа плотностной модели формируется из поверхностей осадочного чехла и консолидированной коры, на которых происходит значимый скачок физических свойств (скорости, плотности, электропроводности, намагниченности). При этом важно, чтобы поверхности структурной основы были определены для всей области их распространения.

По территории Средне- и Нижневолжской нефтегазоносных областей и их обрамления были построены две плотностные 3D-модели: 1) земной коры в целом до глубины 70 км; 2) осадочного чехла и фундамента до глубины 10 км.

Данные потенциальных полей для моделирования взяты из геофизических основ Государственной геологической карты масштаба 1 : 1 000 000 третьего поколения (ГГК-1000/3) (листы М-38, М-39, N-38, N-39). На недостающие фрагменты территории Казахстана использовалась гравитационная составляющая геофизической основы СОБР Роснедра масштаба 1 : 2 500 000. Все исходные материалы были увязаны между собой в единое сеточное покрытие, не содержащее пропусков, с размером ячейки 1 км. Информ-

мация по скважинам, структурным поверхностям и сейсмическим профилям, используемым в построении структурной основы плотностных моделей, была импортирована из Единого банка данных «ВНИГНИ».

Создание плотностных моделей выполнялось на технологической базе ГИС INTEGRO в соответствии с методикой [10].

### Плотностная модель земной коры до глубины 70 км

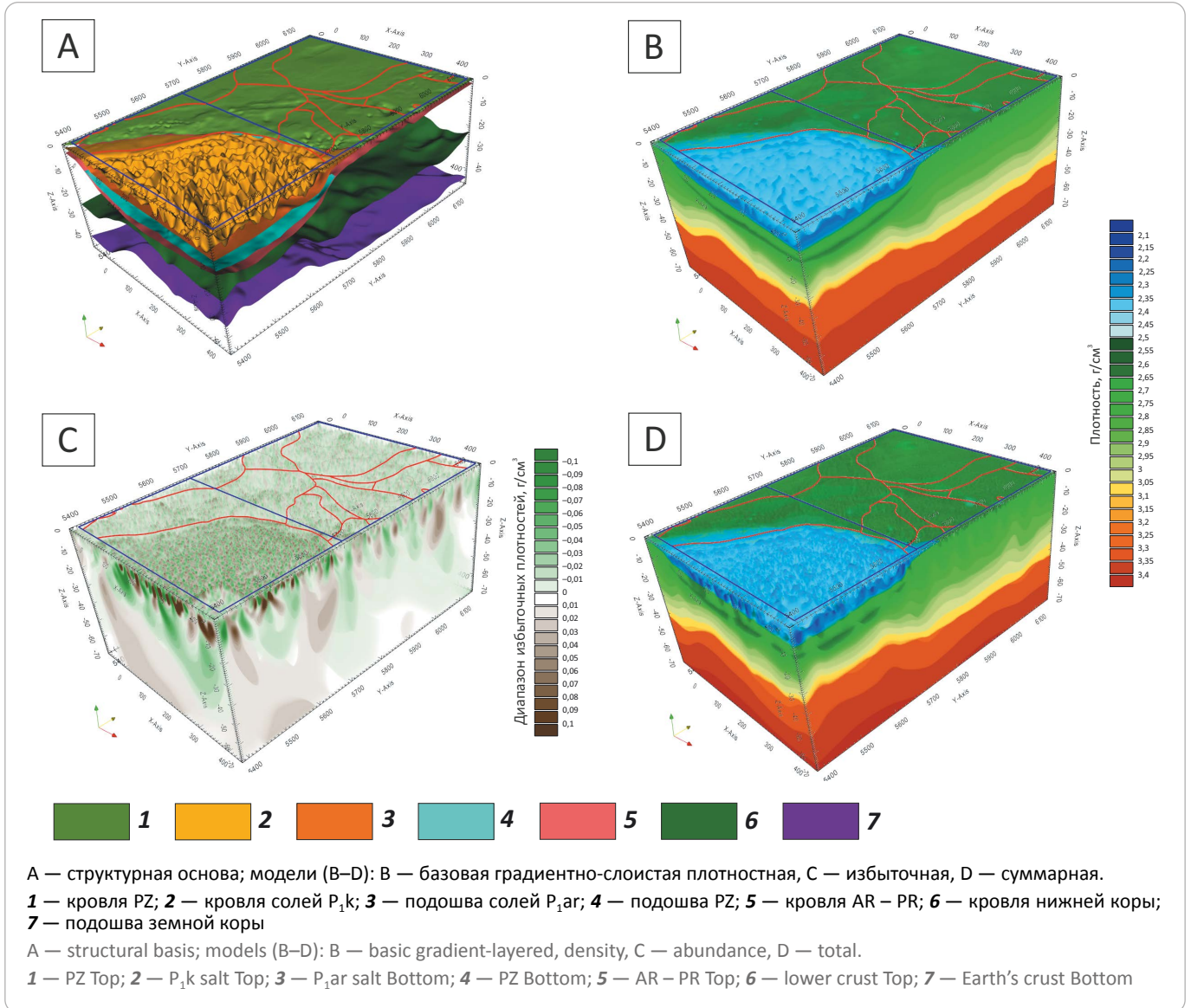
Основное предназначение плотностной модели — получение редуцированного поля силы тяжести, используемого на этапе подбора плотностей для слоев модели осадочного чехла и верхней части фундамента.

Ретроспективная модель территории была представлена опорным каркасом профилей глубинного сейсмического зондирования (ГСЗ) и МОВ-ОГТ (рис. 1 А), моделью распределения плотностных характеристик по площади и разрезу земной коры, а также первым приближением поверхностей структурной основы (рис. 2 А). Профиль ГСЗ Саратов – Гурьев

GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS AND GIS PROJECTS

**Рис. 2.** Этапы построения плотностной 3D-модели земной коры Средне- и Нижневолжской нефтегазоносных областей и их обрамления до глубины 70 км

**Fig. 2.** Stages of building 3D density model of the Earth's crust in Sredny and Nizhnevolzhsky Petroleum Regions and neighbourhood up to the depth of 70 km



в опорный каркас включен не был и использовался как контрольный — для заверки суммарной плотностной модели. В состав структурной основы вошли основные латеральные разделы консолидированной коры и осадочного чехла: **1** — кровля палеозойских отложений; **2** — кровля соленосных отложений нижней перми; **3** — кровля пермских подсолевых отложений; **4** — кровля рифейских отложений; **5** — кровля кристаллического фундамента; **6** — кровля нижней коры; **7** — подошва земной коры. Исходными данными для поверхностей 1–5 стали структурные карты, геолого-геофизические разрезы по сейсмическим профилям, скважинная информация (см. рис. 1 B). Поверхности 6–7 и частично 5 формировались по геолого-геофизическим разрезам опорного каркаса

глубинных профилей, а также существующим моделям земной коры и литосферы ([11] и др.).

Плотность в базовой градиентно-слоистой модели градиентно распределялась внутри каждого слоя от значения на кровле до значения на подошве. Эта модель (и все последующие) представлена в виде трехмерной сети с размерами ячейки 1 × 1 × 0,5 км (см. рис. 2 B). Геометрия структурной основы жестко фиксировалась только по линиям каркаса опорных глубинных профилей, в остальном она могла быть изменена в результате подбора к региональной компоненте гравитационного поля [10]. Окончательные плотности слоев базовой градиентно-слоистой модели приведены в табл. 1.

**Табл. 1.** Плотность слоев базовой градиентно-слоистой 3D-модели земной коры Средне- и Нижневолжской нефтегазоносных областей и их обрамления до глубины 70 км

**Tab. 1.** Density of the layers in gradient-layered 3D model of the Earth's crust, Sredny and Nizhnevolszhsy petroleum regions with the neighbourhood, depth up to 70 km

Номер	Слой модели	Кровля, г/см <sup>3</sup>	Подошва, г/см <sup>3</sup>
1	Мезозой-кайнозойские отложения	2,35	2,45
2	Палеозойские отложения антеклиз	2,62	2,68
3	Пермские соленосные отложения	2,22	2,31
4	Палеозойские отложения Прикаспийской впадины	2,68	2,72
5	Рифейские отложения	2,63	2,66
6	Верхняя кора (гранитогнейсовый слой)	2,72	2,9
7	Нижняя кора (гранулитобазальтовый слой)	2,93	3,1
8	Верхняя мантия	3,3	3,4

3D-модель избыточной плотности территории («избыточная модель») (см. рис. 2 С) — результат решения обратной задачи гравirazведки для разности между наблюдаемым полем и гравитационным эффектом от базовой плотностной модели. В связи с тем, что обратная задача имеет множество эквивалентных решений, ее параметры предварительно были подобраны по геометрии и физическим характеристикам на геолого-геофизических разрезах опорного каркаса профилей ГСЗ. Критерии подбора параметров обратной задачи и ее реализация в ГИС INTEGRO приводятся в [10].

Суммарная плотностная 3D-модель земной коры до глубины 70 км формировалась путем сложения матриц базовой и избыточной моделей (см. рис. 2 D). Гравитационный эффект от нее соответствует наблюдаемому полю силы тяжести. Для заверки распределения плотности в модели использовался контрольный геолого-геофизический разрез по профилю ГСЗ Саратов – Гурьев (рис. 3).

На последнем этапе было проведено редуцирование наблюдаемого поля силы тяжести. Редуцированное поле представляет собой результат решения прямой задачи гравirazведки от фрагмента суммарной плотностной 3D-модели земной коры и верхней мантии, ограниченного интервалом 0–10 км.

Анализ результата (рис. 4) показал, что размах редуцированного поля в 1,8 раза больше размаха наблюдаемого: 206,7 против 115,1 мГал. Это в первую очередь определяется гравитационным эффектом поверхности кристаллического фундамента: на севере и западе территории он залегает на глубине 1–3 км, а на юге и юго-востоке нижняя граница модели не выходит за пределы осадочного чехла. В редуцированном поле по максимальным положительным значениям обособились Токмовский свод Волго-Уральской антеклизы и одноименный свод Воронежской антеклизы. Прикаспийская впадина маркируется отрицательными значениями редуцированного поля. Осложняющие ее положительные максимумы

исходного гравитационного поля были исключены при редуцировании. Приволжская моноклираль получила выраженность в градиентном изменении поля от положительных к слабоотрицательным значениям. Пачелмский авлакоген, фиксируемый как зона слаболожительных значений, пространственно совпал с областью распространения рифейских отложений [12].

**Плотностная модель осадочного чехла и фундамента до глубины 10 км**

Для плотностной модели осадочного чехла и фундамента были последовательно созданы все части, предусмотренные методикой [10]: ретроспективная, базовая, избыточная и суммарная.

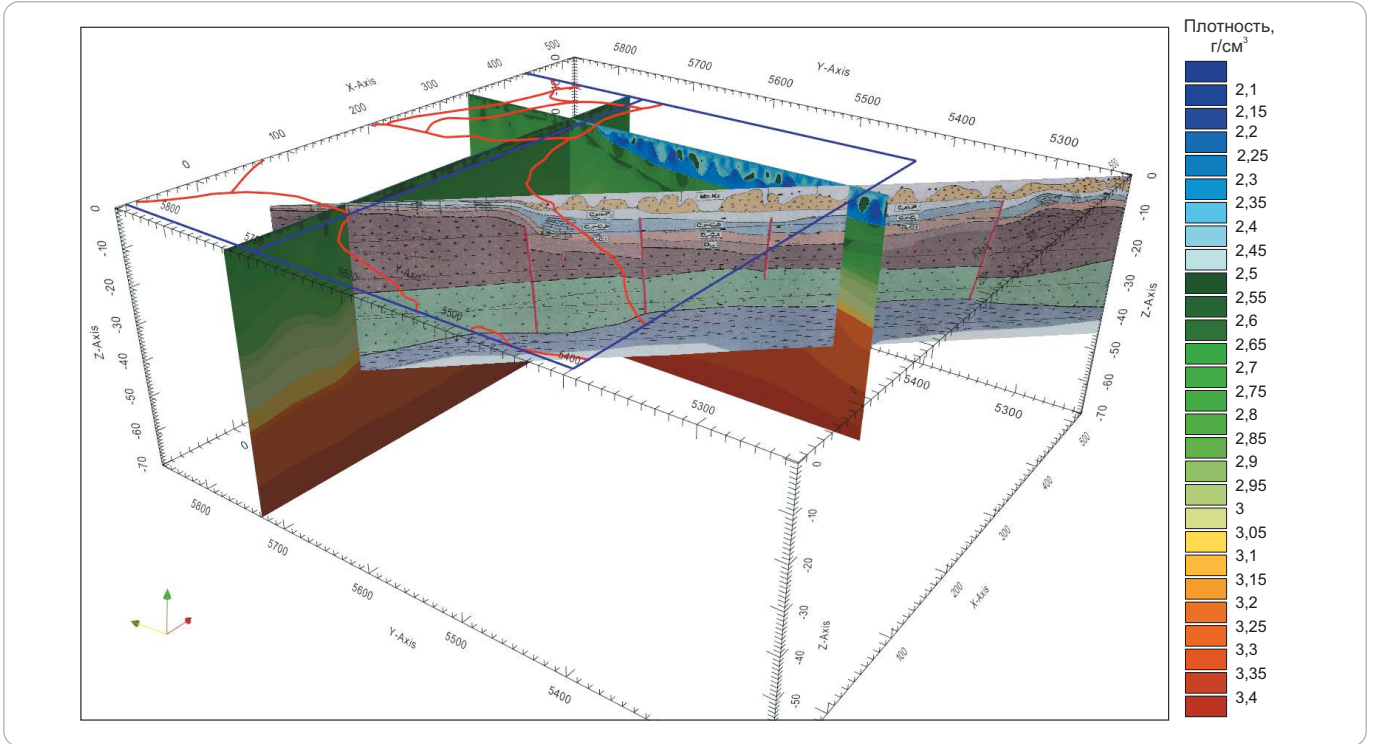
Ретроспективную модель составили геолого-геофизические разрезы по сейсмическим профилям, база скважин, структурные поверхности разных фрагментов территории (см. рис. 1 В). По результатам обобщения этих данных было построено первое приближение структурной основы (рис. 5), в которую, помимо поверхностей, сформированных на предыдущем этапе, дополнительно вошло несколько поверхностей среднего палеозоя. Полный состав структурной основы включает кровли: 1) палеозойских отложений (Волго-Уральская антеклизы); 2) нижнепермских соленосных отложений (Прикаспийская впадина); 3) подсолевых отложений (Волго-Уральская антеклизы); 4) терригенного комплекса среднего карбона (C<sub>2</sub>уг и аналоги); 5) карбонатного комплекса среднего карбона (C<sub>2</sub>сг и аналоги); 6) терригенного комплекса нижнего карбона (C<sub>1</sub>tl); 7) карбонатного комплекса нижнего карбона (C<sub>1</sub>t); 8) преимущественно терригенного комплекса верхнего девона (D<sub>3</sub>tm и аналоги); 9) рифейских отложений; 10) кристаллического фундамента.

Базовая плотностная модель территории, как и в предыдущем случае, была градиентно-слоистой с определением значений плотности на кровле и подошве каждого слоя. Модель представлена в виде

**GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS AND GIS PROJECTS**

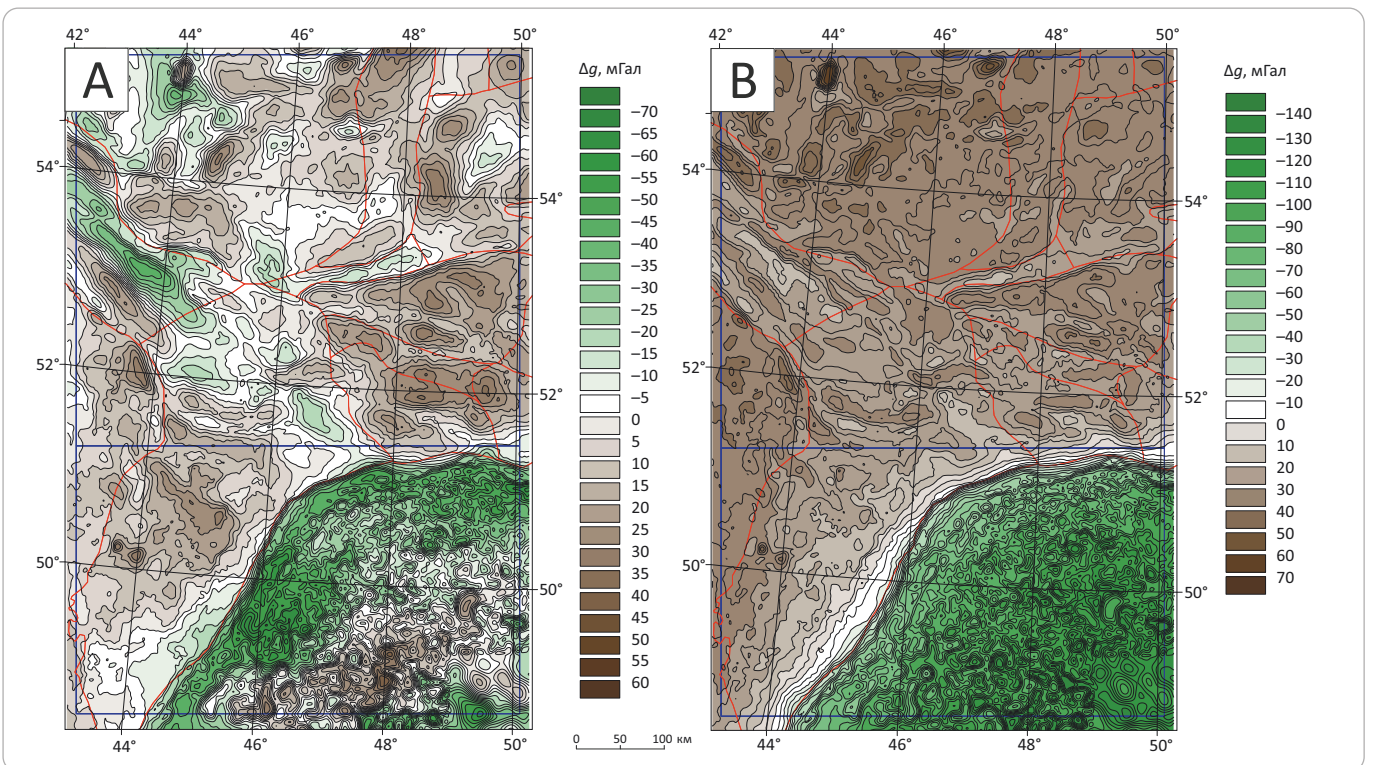
**Рис. 3.** Заверка суммарной плотностной модели земной коры контрольным геолого-геофизическим разрезом по профилю ГСЗ Саратов – Гурьев

**Fig. 3.** Verification of density total model of the Earth's crust with reference geological and geophysical cross-section along Saratov – Gur'ev DSS Line



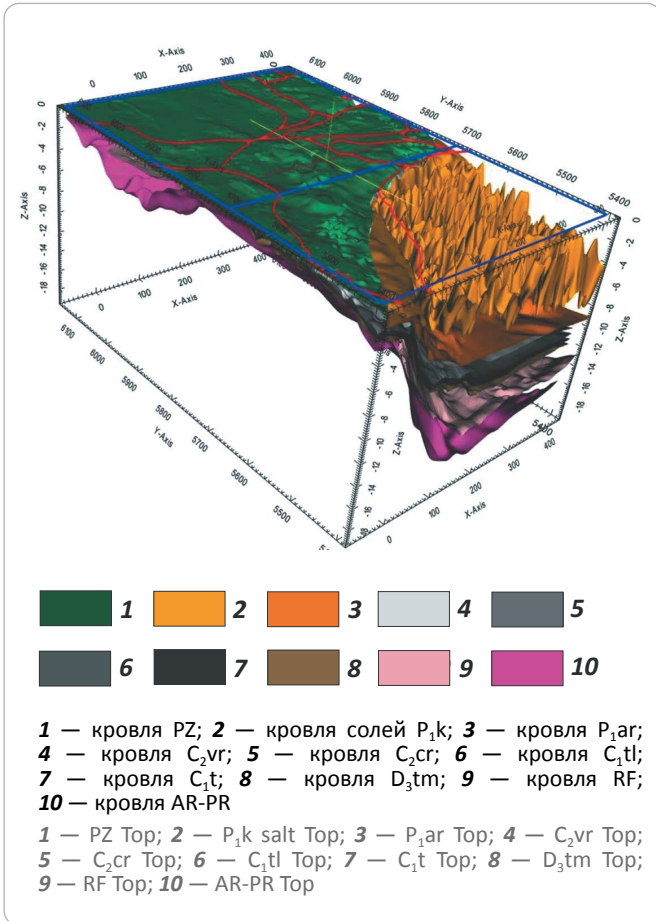
**Рис. 4.** Наблюдаемое поле силы тяжести (А) и редуцированное поле (В), полученное в результате расчета гравитационного эффекта от фрагмента плотностной модели земной коры до глубины 10 км

**Fig. 4.** The observed gravity field (A) and the reduced field (B) obtained as a result of calculation of gravity response from the fragment of the earth's crust density model up to 10 km depth



**Рис. 5.** Структурная основа плотностной модели осадочного чехла и фундамента Средне- и Нижневолжской нефтегазоносных областей и их обрамления

**Fig. 5.** Structural basis of density model of sedimentary cover and basement of Sredny and Nizhnevolzhsky Petroleum Regions with the neighbourhood



трехмерной сети с размером ячейки 500 × 500 × 20 м и состоит из 11 слоев (табл. 2). Уже на начальном этапе подбора плотностных характеристик базовой модели гравитационный эффект от нее показал хорошее совпадение по диапазону значений амплитуды и морфологии с редуцированным полем (рис. 6). Окончательные плотности слоев базовой модели осадочного чехла и фундамента приведены в табл. 2.

Избыточная модель рассчитывалась для разности между редуцированным полем силы тяжести и гравитационным эффектом от базовой модели. При ранее подобранных параметрах обратной задачи основная масса положительных и отрицательных избыточных аномалий оказалась приурочена к кристаллическому фундаменту. Диапазон избыточных плотностей модели ограничен интервалом -0,38...0,33 г/см<sup>3</sup>. Значения плотности суммарной модели осадочного чехла и фундамента, полученные сложением базовой и избыточной моделей, лежат в диапазоне 1,9–3 г/см<sup>3</sup> (рис. 7), а гравитационный эффект от нее равен редуцированному полю силы тяжести. Присутствие в нижних горизонтах осадочного чехла незначительного числа объектов с повышенной плотностью оставляет возможность модификации суммарной модели за счет явного добавления в нее модели интрузивных образований.

Для выявления пространственных закономерностей между положением существующих месторождений УВ, структурной основой модели осадочного чехла и плотностными характеристиками слоев дополнительно были рассчитаны:

– локальные составляющие рельефа по кровле трех горизонтов: C<sub>2</sub>vr, C<sub>1</sub>tl и D<sub>3</sub>tm в скользящем окне 15 × 15 км;

**Табл. 2.** Плотность слоев базовой градиентно-слоистой 3D-модели осадочного чехла и фундамента Средне- и Нижневолжской нефтегазоносных областей и их обрамления до глубины 10 км

**Tab. 2.** Density of the layers in gradient-layered 3D model of sedimentary cover and Basement, Sredny and Nizhnevolzhsky petroleum regions with the neighbourhood, depth up to 10 km

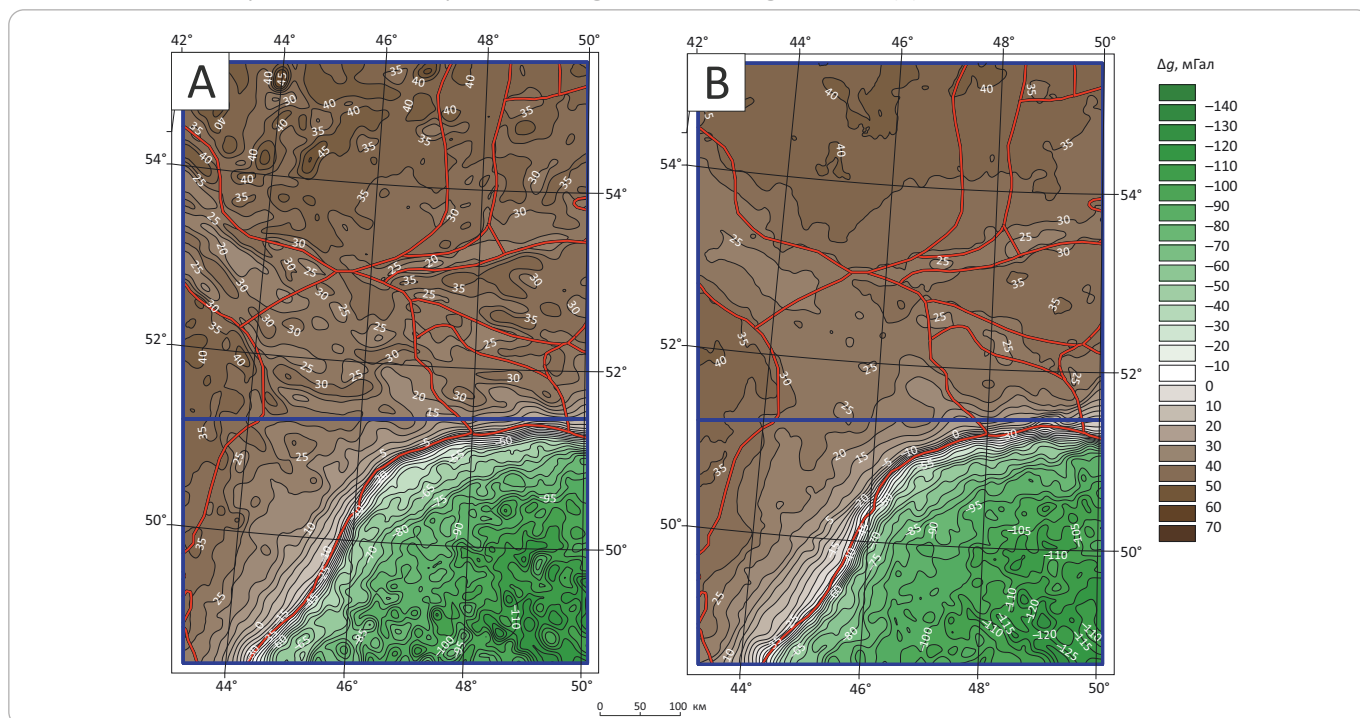
Номер	Слой модели	Кровля, г/см <sup>3</sup>	Подошва, г/см <sup>3</sup>
1	Мезозой-кайнозойские отложения	2,35	2,45
2	Нижнепермские соленосные отложения (Прикаспийская впадина)	2,22	2,31
3	Подсолевые отложения карбонатного комплекса до кровли верейского горизонта C <sub>2</sub> (Прикаспийская впадина)	2,68	2,7
4	Карбонатный комплекс от кровли палеозойских отложений до кровли верейского горизонта (Волго-Уральская антеклиз)	2,62	2,68
5	Терригенный комплекс среднего карбона	2,5	2,55
6	Карбонатный комплекс нижнего – среднего карбона	2,68	2,71
7	Терригенный комплекс нижнего карбона	2,52	2,57
8	Карбонатный комплекс верхнего девона – нижнего карбона	2,7	2,72
9	Преимущественно терригенный комплекс девона	2,59	2,63
10	Терригенно-карбонатный комплекс рифея	2,63	2,67
11	Кристаллический фундамент	2,72	2,87



## GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS AND GIS PROJECTS

**Рис. 6.** Редуцированное поле силы тяжести (А) и гравитационный эффект от первого приближения базовой плотностной градиентно-слоистой модели Средне- и Нижневолжской нефтегазоносных областей и их обрамления (В)

**Fig. 6.** The reduced gravity field (A) and gravity response from the first approximation of the basic gradient and layered density model of Sredny and Nizhnevolzhsky Petroleum Regions with the neighbourhood (B)



– распределение средней плотности в соответствующих слоях (рис. 8) и его локальная составляющая (скользящее окно  $15 \times 15$  км);

– территории локальных положительных превышений по порогу 5 и 10 м для локальных составляющих рельефа указанных горизонтов (маски-факторы);

– маски-факторы локальных разуплотнений по порогу  $-0,001 \text{ г/см}^3$  для слоев  $C_2vr$ ,  $C_1tl$  и  $D_3tm$ .

Векторные объекты карты месторождений УВ (материалы ФГБУ «ВНИГНИ») были преобразованы в сеточный слой-маску, в котором каждому месторождению присвоено уникальное значение. Всего на территории моделирования находится 349 месторождений УВ, а месторождений, представленных в маске более чем одной ячейкой, — 263. По этой маске была проведена количественная оценка наличия тех или иных факторов для известных месторождений. По результатам анализа пространственных взаимоотношений трансформант рельефа поверхностей и срезов плотностной модели с расположением известных месторождений отмечается следующее.

1. Месторождения УВ этой части Волго-Уральской антеклизы и северо-западной прибортовой зоны Прикаспийской впадины преимущественно тяготеют к локальным положительным аномалиям рельефа структурных поверхностей, которые представляют собой валообразные поднятия различной формы (см. рис. 8 А, С). Для верейского горизон-

та перекрытие 10 % площади месторождений УВ, занимающих более одной ячейки, с маской-фактором превышений по порогу 10 м отмечается у 70,3 % месторождений, а перекрытие 25 % площади — у 66 %. Попадание некоторых месторождений УВ в локальные депрессии, скорее всего, связано с недостатками интерполяционной основы и может быть устранено путем сгущения структурных данных для этих областей.

2. В районе Приволжской моноклинали и Рязано-Саратовского прогиба выделяется несколько протяженных зон вытянутых положительных аномалий, ориентированных параллельно северо-западному борту Прикаспийской впадины. Такие же линейные структуры наблюдаются в ее прибортовой зоне и отражают ступенчатое погружение осадочного чехла впадины в сторону Центрально-Прикаспийской депрессии. Амплитуда локальных аномалий рельефа поверхностей в прибортовой зоне Прикаспийской впадины превышает амплитуду аномалий Волго-Уральской и Воронежской антеклиз.

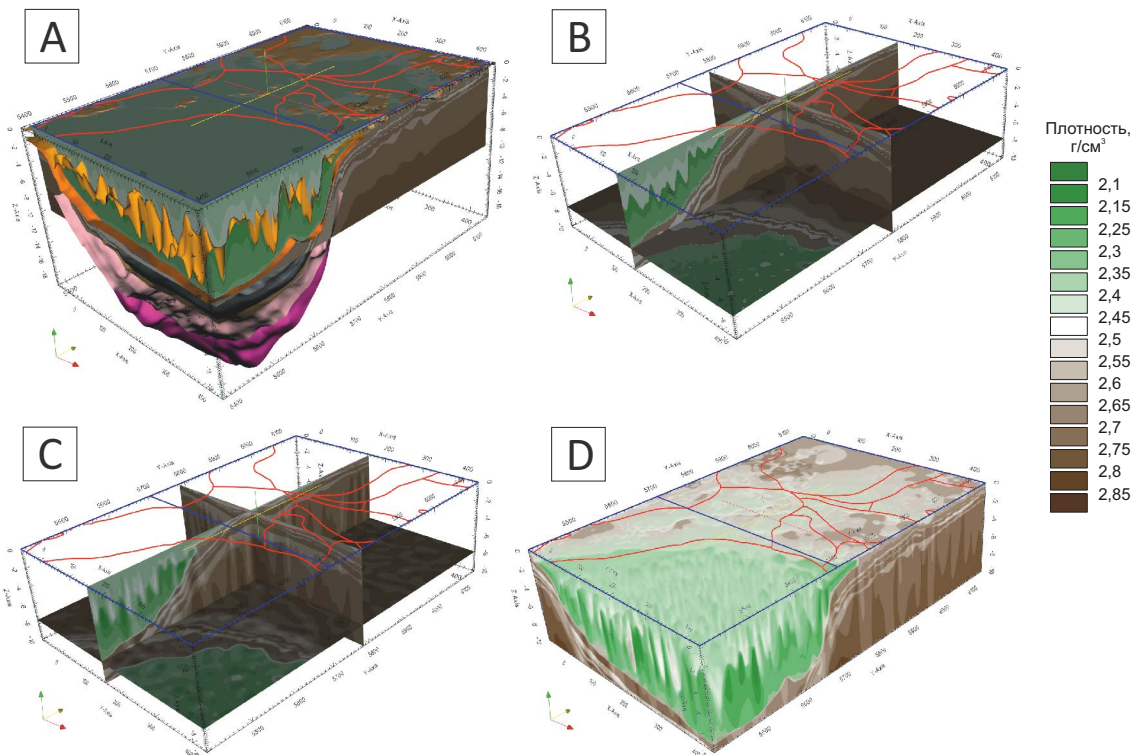
3. Локальные аномалии по кровле исследуемых поверхностей с амплитудой более 100 м отмечаются для Сосновской депрессии, западной границы Каменско-Ровенской моноклинали, северной границы Жигулевского свода, южного склона Пугачевского свода.

4. Токмовский свод характеризуется незначительными колебаниями локальных амплитуд рельефа поверхностей, не превышающих 30 м.



**Рис. 7.** Этапы построения плотностной 3D-модели осадочного чехла и фундамента Средне- и Нижневолжской нефтегазоносных областей и их обрамления до глубины 10 км

**Fig. 7.** Stages of building the density 3D model of sedimentary cover and basement of Sredny and Nizhnevolzhsky Petroleum Regions with the neighbourhood up to 10 km depth



Базовая градиентно-слоистая модель (A, B): A — в объеме, B — в сечениях по осям координат; суммарная модель (C, D): C — в сечениях по осям координат, D — в объеме  
 Basic gradient and layered model (A, B): A — 3D, B — in the sections along the coordinate axes; total model (C, D): C — in the sections along the coordinate axes, D — 3D

5. Большинство месторождений попадает в зоны разуплотнения. Это хорошо видно на полученных плотностных срезах (см. рис. 8 В). Также можно отметить целый класс месторождений, попадающих в седловину между зонами повышенной плотности (см. рис. 8 D). На кросс-плоте (рис. 9) приведено распределение плотности и локальных превышений по всей поверхности  $C_{1v}$ , а также только для ячеек, попавших в маску-фактор месторождений. Относительно средних значений параметров (пересечение линий) видно, что ячейки, принадлежащие месторождениям, группируются в секторе с пониженными значениями плотности и повышенными значениями локальных превышений относительно средних значений.

6. Перекрытие 10 % площади месторождений УВ, занимающих более одной ячейки, с маской-фактором разуплотнения по порогу  $-0,001 \text{ г/см}^3$  в верейском горизонте отмечается для 69 % месторождений, а перекрытие 25 % площади — для 62 %.

5. Некоторые месторождения, преимущественно мелкие по размеру, не соответствуют описанным выше плотностным условиям, что может свидетель-

ствовать либо о недостаточном разрешении использованных данных гравитационной съемки, либо о дефектах плотностной модели, связанных с неверным учетом аномалиеобразующих объектов, либо с ошибками построения структурной основы.

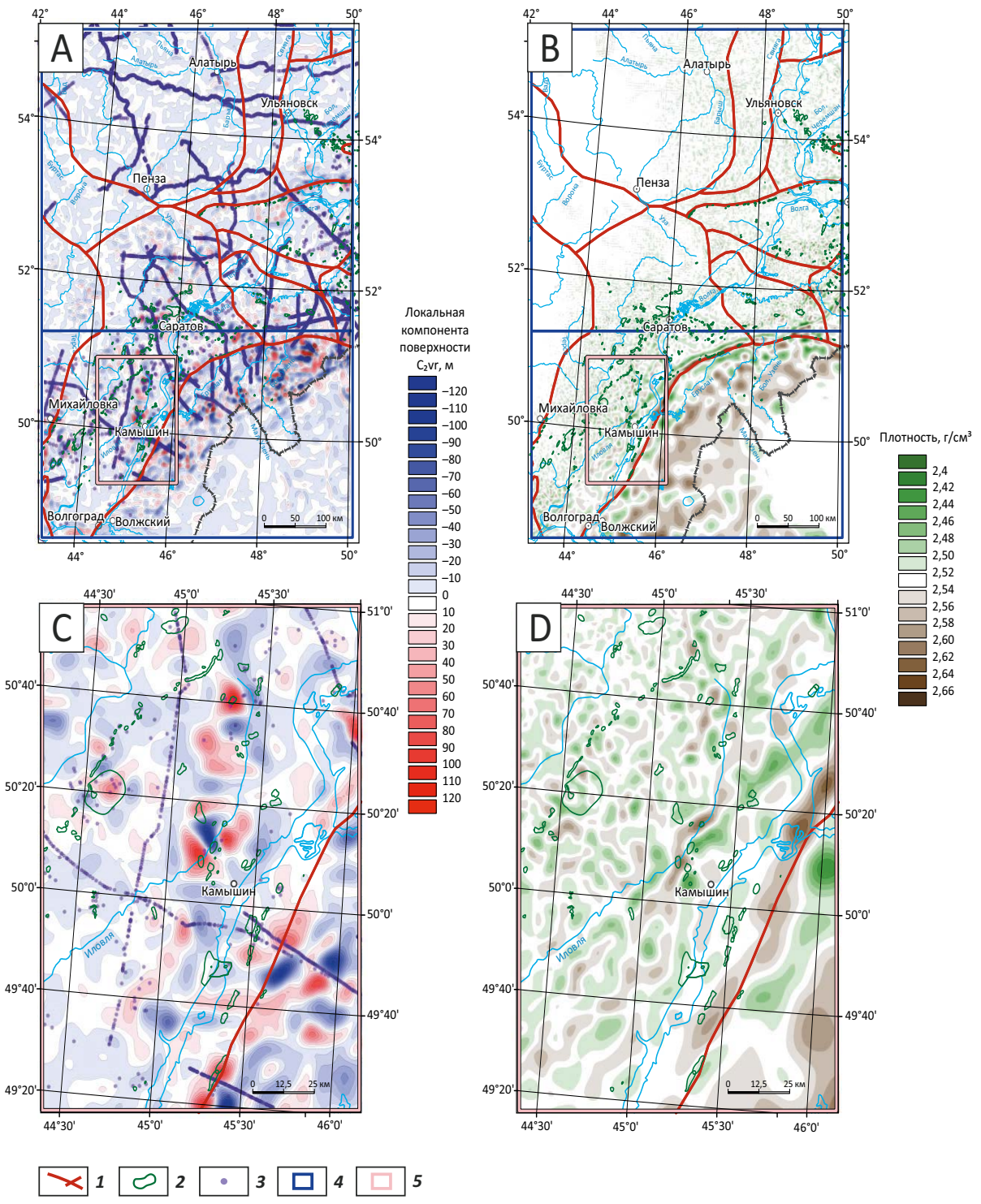
Для анализа структурных и плотностных особенностей под месторождениями УВ в южной части Рязано-Саратовского прогиба была задана система профилей (рис. 10) и по ним построены расчески плотностной модели осадочного чехла (рис. 11).

Профиль № 1 (см. рис. 11 А) ориентирован в северо-северо-восточном направлении и преимущественно проходит по месторождениям УВ, расположенным в Уметовско-Линевской депрессии. Под Коробковским месторождением, в 4–7 слоях модели (см. табл. 2), располагается положительная структура с разуплотненной сводовой частью. Ее амплитуда составляет 150 м. Линевское и Западно-Линевское месторождения также приурочены к крупной положительной форме рельефа, амплитуда которой по кровле верейского горизонта превышает 500 м. На своде этой структуры, в преимущественно терригенных слоях разреза, выделяются зоны пониженной

GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS AND GIS PROJECTS

**Рис. 8.** Локальная компонента рельефа поверхности  $C_{2vr}$ , рассчитанная в окне  $15 \times 15$  км для всей площади (А) и врезки (С) и распределение средней плотности для слоя  $C_{2vr}$  для всей площади (В) и врезки (D)

**Fig. 8.** Local component of  $C_{2vr}$  surface calculated in  $15 \times 15$  km window for the entire area (A) and fragments (C) and distribution of average density for  $C_{2vr}$  layer all over the area (B) and for fragment (D)



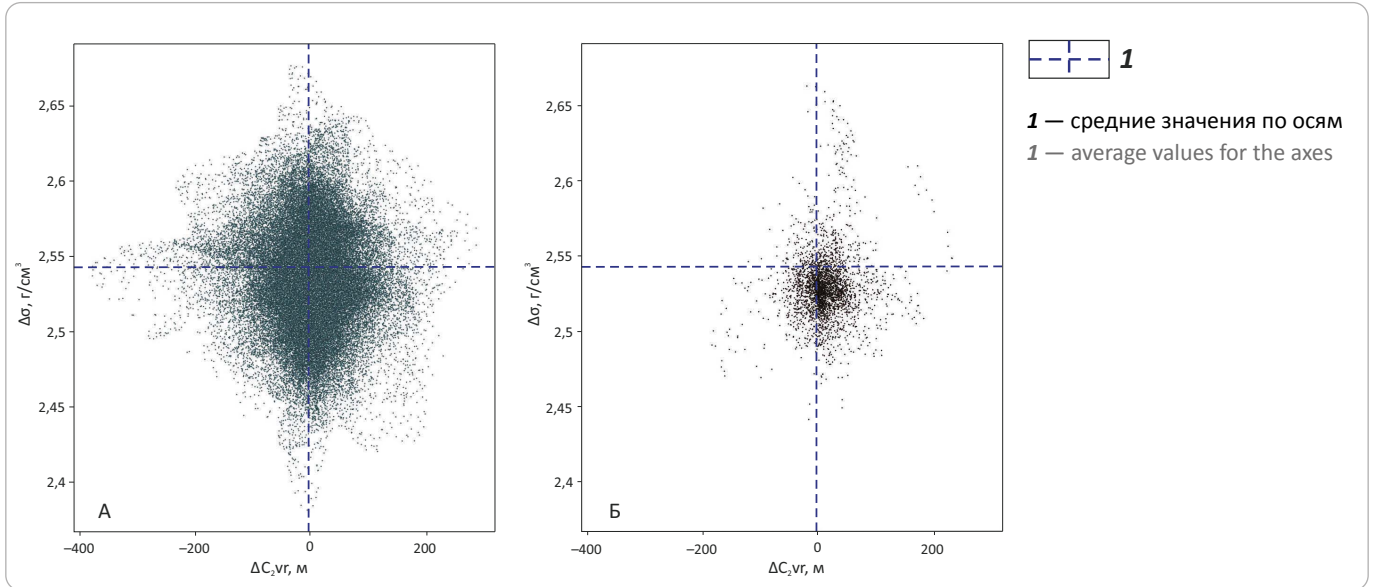
- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

1 — границы структур Волго-Уральской антеклизы; 2 — месторождения УВ; 3 — точки интерполяционной основы для поверхности  $C_{2vr}$ ; 4 — область моделирования; 5 — контур врезки

1 — boundaries of structures in the Volga-Urals anteclise; 2 — HC fields; 3 — data points for  $C_{2vr}$  surface interpolation; 4 — area of modelling; 5 — outline of a fragment

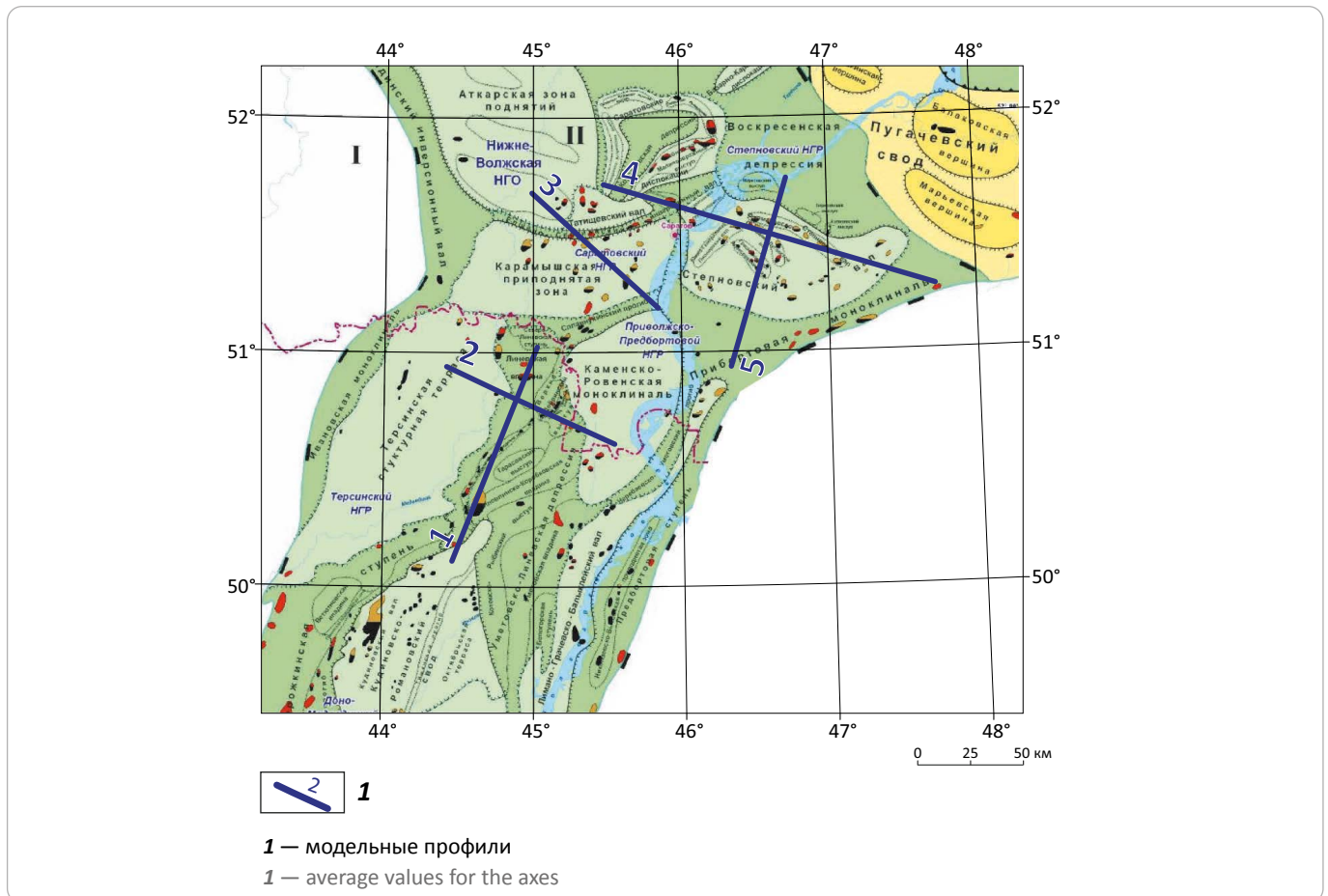
**Рис. 9.** Кросс-плоты плотности и локальной составляющей поверхности кровли  $C_{1vr}$  для всей площади (А) и по маске-фактору месторождений УВ (В)

**Fig. 9.** Crossplots of density and local component of  $C_{1vr}$  Top surface for the entire area (A) and for the mask of HC fields (B)



**Рис. 10.** Расположение модельных профилей на схеме тектонического районирования юго-западной части Рязано-Саратовского прогиба (по материалам ФГУП НВНИИГГ, 2012)

**Fig. 10.** Location of modelled profiles shown on the tectonic zoning map of the south-western part of the Rязano-Saratovskiy trough (according to the materials of FGUP NVNIIGG, 2012)



**Рис. 11.** Сечение суммарной плотностной модели осадочного чехла по профилям № 1 (А), № 2 (В), № 3 (С), № 4 (D), № 5 (Е)  
**Fig. 11.** Section from the total density model of sedimentary cover along the lines: No. 1 (A), No. 2 (B), No. 3 (C), No. 4 (D), No. 5 (E)

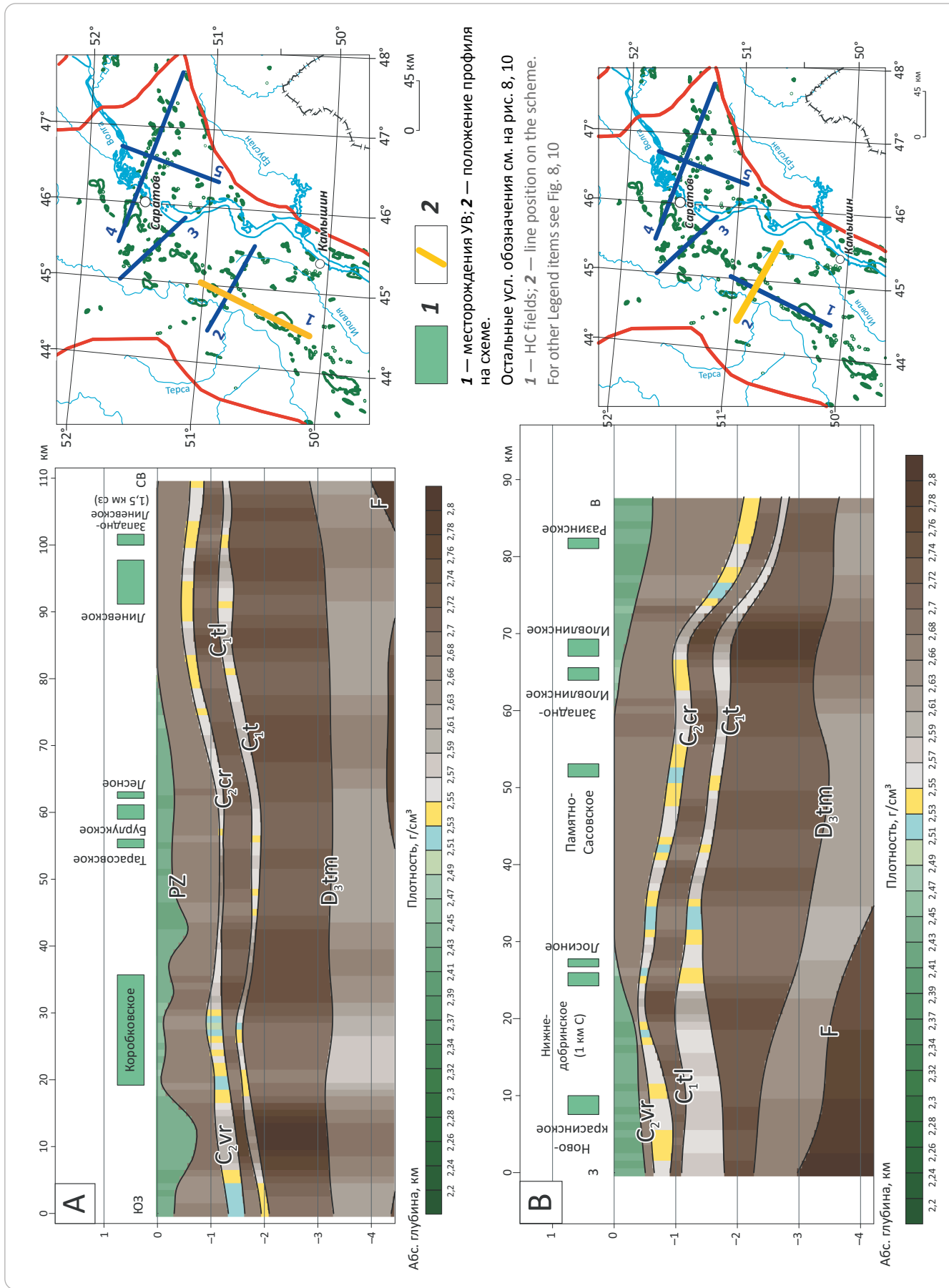


Рис. 11, продолжение  
Fig. 11, end.

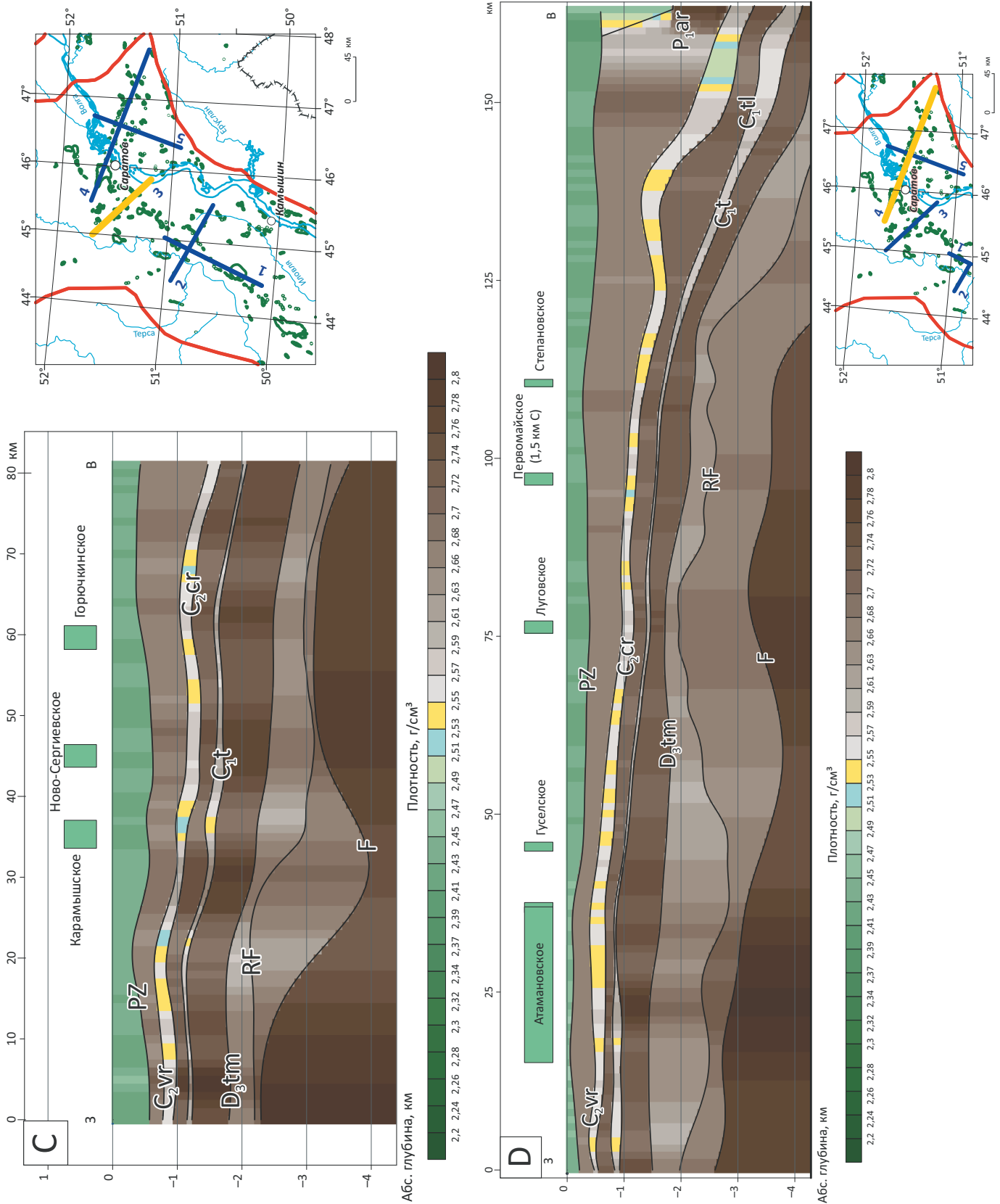
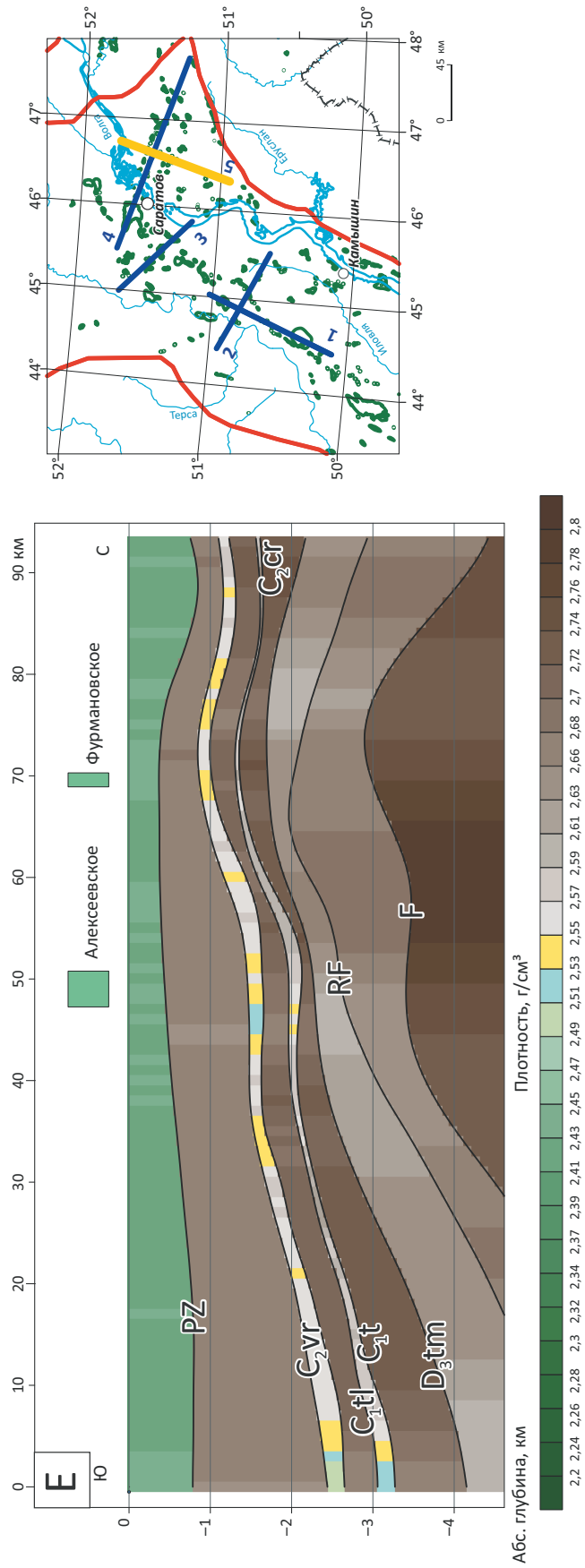


Рис. 11, окончание  
Fig. 11, end.



плотности. Тарасовское месторождение приурочено к незначительному поднятию в среднепалеозойских отложениях и характеризуется слабым разуплотнением. Бурлукское и Лесное месторождения с положительными формами и разуплотнением в модели не выражены, однако мощность верейского горизонта под месторождениями составляет всего 50–80 м (при средней по разрезу — 200 м). Это является основанием для актуализации структурной основы этого фрагмента территории.

В начале профиля (5–15 км) обращает на себя внимание прогиб в кровле палеозойских отложений, который в модели компенсируется за счет уплотнения (до  $2,79 \text{ г/см}^3$ ) карбонатного комплекса  $D_3-C_1$ . В этом месте также необходимо проверить интерполяционную основу поверхности и по возможности сгустить ее.

Профиль № 2 (см. рис. 11 В) начинается на Терсинской структурной террасе, пересекает Уметовско-Линевскую депрессию и заканчивается на Каменско-Ровенской моноклинали. Длина профиля составляет 85 км, ориентировка — северо-запад — юго-восток. Под всеми пересекаемыми профилем месторождениями в верейском и тульском горизонтах отмечаются зоны разуплотнения. Западно-Иловлинское, Иловлинское, Нижнедобринское и Лосиное месторождения пространственно связаны с валобразными поднятиями амплитудой более 200 м. Под Памятно-Сасовским месторождением на разрезе также имеется малоамплитудное поднятие. Перспективной на УВ выглядит область в районе 30 км профиля. Тут в рельефе слоев нижнего — среднего карбона отмечается небольшая положительная форма и соответствующая ей зона разуплотнения.

Профиль № 3 (см. рис. 11 С) проходит по Актарской зоне поднятий и далее через Елшано-Сергиевский грабен уходит на Карамышскую зону поднятий. Его длина составляет 80 км. Профиль пересекает три месторождения, двум из которых (Карамышское и Горючкинское) в среднем палеозое соответствуют зоны разуплотнения и локальные положительные структуры амплитудой более 100 м. Ново-Сергиевское месторождение можно проследить по слабому разуплотнению верейского горизонта и такой же слабовыраженной положительной форме в отложениях карбона.

На профиле можно выделить два перспективных участка (в районе 20 и 67 км), к которым приурочены локальные поднятия в слоях среднего палеозоя с одновременным понижением плотности в них.

Профиль № 4 (см. рис. 11 D) ориентирован на юго-восток и является наиболее протяженным (160 км). Он берет начало от Саратовских дислокаций, далее идет по Степановскому валу и входит в Прибортовую моноклинал. Атамановское месторождение хорошо выделяется пологой положительной

структурой в палеозойских отложениях и нескольких разуплотненных зонах в ее пределах. Остальные месторождения на профиле, кроме Луговского, также фиксируются зонами пониженной плотности и малоамплитудными положительными структурами рельефа среднепалеозойских слоев. Наибольшее разуплотнение в верейском горизонте отмечается под Первомайским месторождением.

Профиль № 5 (см. рис. 11 Е) проходит через Прибортовую моноклинал, Степановский вал и Воскресенскую депрессию. Ориентировка — северо-северо-запад, длина — 93 км. Под Фурмановским и Алексеевским месторождениями в терригенном карбоне присутствуют разуплотненные зоны, причем под Алексеевским плотность в верейском горизонте опускается до  $2,52 \text{ г/см}^3$ . Оба эти месторождения приурочены к небольшим поднятиям в пределах Степановского вала.

Таким образом, можно отметить, что больше половины месторождений УВ Средне- и Нижневолжской нефтегазоносных областей приурочены к положительным формам палеозойского рельефа и характеризуются незначительным разуплотнением в среднепалеозойских слоях (преимущественно терригенных) плотностной модели осадочного чехла. Так, для верейского горизонта перекрытие более 10 % площади месторождений УВ одновременно двумя факторами (превышение по порогу 10 м и разуплотнение по порогу  $-0,001 \text{ г/см}^3$ ) отмечается для 52 % известных объектов. Эти два фактора, проявленные одновременно, для данной территории значительно повышают перспективность участка на наличие УВ.

## Выводы

1. Инструментарий ГИС INTEGR0 является основой для технологии построения плотностных моделей территории.

2. Информация, содержащаяся в геофизической основе ГГК-1000/3, позволяет строить региональные плотностные модели как в целом для земной коры, так и осадочного чехла и верхней части фундамента.

3. Построение региональной плотностной модели земной коры и верхней мантии дает возможность адекватной редукции поля силы тяжести и дальнейшего применения результата редуцирования для подбора плотностной модели осадочного чехла.

4. Полученная плотностная модель осадочного чехла и верхней части фундамента до глубины 10 км Средне- и Нижневолжской нефтегазоносных областей и их обрамления в целом удовлетворяет общим представлениям о геологическом строении территории. Ее развитие и актуализация могут проводиться за счет сгущения интерполяционной основы для поверхностей структурного каркаса, а также добавления в явном виде модели интрузивных образований.

## GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS AND GIS PROJECTS

5. При наличии новой структурной информации и плотностных характеристик может быть выполнена детализация любого фрагмента территории в пределах региональной плотностной модели осадочного чехла.

6. На базе плотностной модели осадочного чехла и верхней части фундамента получены дополни-

тельные критерии, которые для территории Средне- и Нижневолжской нефтегазоносных областей и их обрамления, проявленные одновременно, повышают перспективность участков на наличие УВ. Эти критерии могут быть использованы как дополнительные при прогнозе УВ по комплексу геолого-геофизических признаков.

## Литература

1. Богданова С.В. Земная кора Русской платформы // Труды Геол. ин-т АН СССР. – М. : Наука, 1986. – Вып. 408. – 224 с.
2. Масляев Г.А., Неволин Н.В., Федоров Д.Л. Прикаспийская впадина. Структурная карта поверхности фундамента. – М. : ВНИИЗарубежгеология, 1994.
3. Рихтер Я.А. Геодинамическая модель формирования Прикаспийской впадины: переход окраинных рифтогенных впадин в глубокие осадочные бассейны // Недр Поволжья и Прикаспия. – 2010. – № 64. – С. 3–18.
4. Шеин В.С., Fortunatova N.K., Alferenok A.V., Dolmatova I.V., Elagina Ya.E., Kalamkarov S.L., Knipper A.A., Petrov A.I., Sobornov K.O. Геодинамическая эволюция и тектоническое районирование Восточно-Европейской платформы // Геология нефти и газа. – 2013. – № 5. – С. 11–27.
5. Антипов М.П., Быкадоров В.А., Волож Ю.А., Леонов Ю.Г. Проблемы происхождения Прикаспийской впадины // Геология нефти и газа. – 2009. – № 3. – С. 11–19.
6. Трофимов В.А. Глубинные региональные сейсморазведочные исследования МОГТ нефтегазоносных территорий. – М. : ГЕОС, 2014. – 202 с.
7. Колодяжный С.Ю. Структура и эволюция Сурско-Камской зоны сдвига в кайнозое (Волго-Уральская антеклиз Восточно-Европейской платформы) // Геотектоника. – 2015. – № 4. – С. 30–53. DOI: 10.7868/S0016853X15040049.
8. Копп М.Л., Вержицкий В.Е., Колесниченко А.А., Тверитинова Т.Ю., Васильев Н.Ю., Корчемагин В.А., Макарова Н.В., Мострюков А.О., Иоффе А.И. Кайнозойские напряжения востока Русской плиты, Южного и Среднего Урала: Методические, теоретические и прикладные аспекты. – М.: ГЕОС, 2014. – 88 с.
9. Спиридонов В.А., Пиманова Н.Н. Методические и технологические аспекты исключения гравитационного эффекта нижней части земной коры при изучении осадочного чехла нефтегазоносных территорий // Геоинформатика. – 2020. – № 3. – С. 38–45. DOI: 10.47148/1609-364X-2020-3-38-45.
10. Спиридонов В.А., Пиманова Н.Н., Финкельштейн М.Я. Технология построения плотностной 3D-модели земной коры в ГИС INTEGR0 // Геоинформатика. – 2020. – № 4. – С. 38–51.
11. Егоркин А.В., Разникова М.И. Прикаспийская впадина // Сейсмические модели литосферы основных геоструктур территории СССР. – М., 1980. – С. 90–95.
12. Сухоруков В.И., Яцкевич С.В., Писаренко В.Ю., Писаренко Ю.А., Андреев Г.Н. Седиментационно-формационные особенности формирования рифейских отложений Пачелмско-Саратовского авлакогена // Недр Поволжья и Прикаспия. – 2016. – № 86. – С. 18–43.

## References

1. Bogdanova S.V. Zemnaya kora Russkoi platformy [Earth's crust of Russian Platform]. In: Trudy Geol. In-t AN SSSR. Moscow: Nauka; 1986. Issue 408. 224 p. In Russ.
2. Maslyayev G.A., Nevolin N.V., Fedorov D.L. Prikaspiiskaya vpadina. Strukturnaya karta poverkhnosti fundamenta [Caspian depression. Depth map of the Basement surface]. Moscow: VNIИ Zarubezhgeologiya; 1994. In Russ.
3. Rikhter Ya.A. Geodinamicheskaya model' formirovaniya Prikaspiiskoi vpadiny: perekhod okrainnykh riftingennykh vpadin v glubokie osadochnye basseiny [Geodynamic model of the Caspian depression formation: transition of marginal riftogenic depressions into deep sedimentary basins]. *Nedra Povolzh'ya i Prikaspiya*. 2010;(64):3–18. In Russ.
4. Shein V.S., Fortunatova N.K., Alferenok A.V., Dolmatova I.V., Elagina Ya.E., Kalamkarov S.L., Knipper A.A., Petrov A.I., Sobornov K.O. Geodynamic evolution and tectonic zoning of East-European platform. *Geologiya nefi i gaza*. 2013;(5):11–27. In Russ.
5. Antipov M.P., Bykadorov V.A., Volozh Yu.A., Leonov Yu.G. Problems of origin and evolution of Pre-Caspian depression. *Geologiya nefi i gaza*. 2009;(3):11–19. In Russ.
6. Trofimov V.A. Glubinnye regional'nye seismorazvedochnye issledovaniya MOGT neftegazonosnykh territorii [Deep regional seismic CDP studies in oil and gas bearing territories]. Moscow: GEOS; 2014. 202 p. In Russ.
7. Kolodyazhnyi S.Yu. The Structure and Evolution of the Sura–Kama Strike Slip Zone in the Cainozoic (the Volga–Ural Antecline of the East European Platform). *Geotectonics*. 2015;(4):30–53. DOI: 10.7868/S0016853X15040049. In Russ.
8. Kopp M.L., Verzhbitskii V.E., Kolesnichenko A.A., Tveritina T.Yu., Vasil'ev N.Yu., Korchemagin V.A., Makarova N.V., Mostryukov A.O., Ioffe A.I. Cenozoic stress field in the east of the Russian Plate, Southern And Middle Urals: methodical, theoretical and applied aspects [Cenozoic stress in the east of Russian Plate, Southern and Middle Urals: methodological, theoretical, and engineering aspects]. Moscow: GEOS; 2014. 88 p. In Russ.
9. Spiridonov V.A., Pimanova N.N. Methodological and technological aspects of expection of the gravitational effect of the lower part of the earth's crust in study of sedimentary cover of oil and gas-bearing areas. *Geoinformatika*. 2020;(3):38–45. DOI: 10.47148/1609-364X-2020-3-38-45. In Russ.



10. Spiridonov V.A., Pimanova N.N., Finkel'shtein M.Ya. Technology for constructing a 3D density model of the earth's crust in the INTEGRO GIS. *Geoinformatika*. 2020;(4):38–51. In Russ.
11. Egorkin A.V., Raznikova M.I. Prikaspiiskaya vpadina [Caspian depression]. In: *Seismicheskie modeli litosfery osnovnykh geostruktur territorii SSSR*. Moscow; 1980. pp. 90–95. In Russ.
12. Sukhorukov V.I., Yatskevich S.V., Pisarenko V.Yu., Pisarenko Yu.A., Andreev G.N. Sedimentatsionno-formatsionnye osobennosti formirovaniya rifeiskikh otlozhenii Pachelmsko-Saratovskogo avlakogena [Sedimentation and formation features of the Riphean series within the Pachelmsky-Saratovsky aulacogen]. *Nedra Povolzh'ya i Prikaspiya*. 2016;(86):18–43. In Russ.

### Информация об авторах

#### Фортунова Наталья Константиновна

Доктор геолого-минералогических наук,  
заместитель генерального директора  
ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский  
геологический нефтяной институт»,  
105118 Москва, ш. Энтузиастов, д. 36  
e-mail: fortunatova@vnigni.ru

#### Спиридонов Виктор Альбертович

Кандидат технических наук, заведующий сектором  
ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский  
геологический нефтяной институт»,  
117105 Москва, Варшавское ш., д. 8  
e-mail: victor@geosys.ru  
ORCID ID: 0000-0002-9421-555X

### Information about authors

#### Natalya K. Fortunatova

Doctor of Geological and Mineralogical Sciences,  
Deputy Director General  
All-Russian Research  
Geological Oil Institute,  
36, Shosse Entuziastov, Moscow, 105118, Russia  
e-mail: fortunatova@vnigni.ru

#### Viktor A. Spiridonov

Candidate of Technical Sciences, Head of Sector  
All-Russian Research  
Geological Oil Institute,  
8, Varshavskoe shosse, Moscow, 117105, Russia  
e-mail: victor@geosys.ru  
ORCID ID: 0000-0002-9421-555X