

УДК 550.8:551.24

DOI 10.31087/0016-7894-2021-5-55-73

Геолого-геофизические особенности строения Предверхоянского краевого прогиба и прилегающих территорий по данным нового сейсморазведочного речного профиля МОГТ-2D и переинтерпретации архивных материалов

© 2021 г. | М.Н. Шапорина, Е.В. Мосягин, О.Г. Садур, В.Н. Беспечный

АО «СНИИГГиМС», Новосибирск, Россия; shaporina@sniiggims.ru; mosyagin@sniiggims.ru; sadur.oleg@sniiggims.ru; bespechnyy@sniiggims.ru

Поступила 18.01.2021 г.

Доработана 21.01.2021 г.

Принята к печати 04.06.2021 г.

Ключевые слова: *Предверхоянский краевой прогиб; Верхоянский складчато-надвиговый пояс; Кютингдинский грабен; сейсморазведка; речной сейсморазведочный профиль; гравиразведка; магниторазведка; геологическая модель; структурно-тектоническая карта.*

Аннотация: В статье представлена геологическая модель строения Ленской ветви Предверхоянского краевого прогиба и зоны его сочленения с Вилуйской гемисинеклизой. Новейшие сейсморазведочные данные в комплексе с оригинальной обработкой потенциальных полей позволили уточнить строение восточной окраины Анабарской антеклизы, Предверхоянского краевого прогиба и восточной части Вилуйской гемисинеклизы, а также Кютингдинского грабена и Китчанской антиклинали. Впервые представлен сейсмогеологический разрез по профилю р. Лена, пересекающий зону сочленения Анабарской антеклизы, Предверхоянского краевого прогиба и Вилуйской гемисинеклизы.

Для цитирования: Шапорина М.Н., Мосягин Е.В., Садур О.Г., Беспечный В.Н. Геолого-геофизические особенности строения Предверхоянского краевого прогиба и прилегающих территорий по данным нового сейсморазведочного речного профиля МОГТ-2D и переинтерпретации архивных материалов // Геология нефти и газа. – 2021. – № 5. – С. 55–73. DOI: 10.31087/0016-7894-2021-5-55-73.

Geological and geophysical structural features of Predverkhoyansky Foreland Basin and neighbouring areas: data from new along-river 2D CDP seismic survey line and reinterpretation of legacy data

© 2021 | M.N. Shaporina, E.V. Mosyagin, O.G. Sadur, V.N. Bespechnyi

SNIIGGiMS, Novosibirsk, Russia; shaporina@sniiggims.ru; mosyagin@sniiggims.ru; sadur.oleg@sniiggims.ru; bespechnyy@sniiggims.ru

Received 18.01.2021

Revised 21.01.2021

Accepted for publication 04.06.2021

Key words: *Predverkhoyansky Foreland Basin; Verkhoyansky fold-and-thrust belt; Kyutingdinsky graben; seismic exploration; along-river seismic survey line; gravimetry; magnetometry; geological model; structural and tectonic map.*

Abstract: The paper presents geological model of the Lensky branch of Predverkhoyansky Foreland Basin and zone of its joint with the Vilyuisky hemisyncline. The latest seismic data integrated with unconventional processing of gravity and magnetic fields allowed updating architecture of the eastern margin of the Anabarsky Syncline, Predverkhoyansky Foreland Basin, and eastern part of the Vilyuisky, as well as the Kyutingdinsky graben and the Kitchansky anticline. Geoseismic section along the Lena River profile was presented for the first time, which crosses the zone of Anabarsky Antecline, Predverkhoyansky Foreland Basin, and Vilyuisky hemisyncline joint.

For citation: Shaporina M.N., Mosyagin E.V., Sadur O.G., Bespechnyi V.N. Geological and geophysical structural features of Predverkhoyansky Foreland Basin and neighbouring areas: data from new along-river 2D CDP seismic survey line and reinterpretation of legacy data. *Geologiya nefi i gaza*. 2021;(5):55–73. DOI: 10.31087/0016-7894-2021-5-55-73. In Russ.

Введение

Геологическое строение Предверхоянского краевого прогиба обсуждалось многими авторами, особенно в связи с его потенциальной нефтегазоносностью. Современные сейсморазведочные работы в

комплексе с оригинальной обработкой ретроспективных материалов грави- и магниторазведки позволили построить геологическую 3D-модель строения Ленской ветви Предверхоянского краевого прогиба и зоны его сочленения с Вилуйской гемисинеклизой.

Краткий обзор изученности региона

Представления о геологическом строении Ленской ветви Предверхоанского краевого прогиба до недавнего времени основывались преимущественно на результатах геологической съемки 1960–1980-х гг., а также результатах грави- и магниторазведки масштабов 1 : 1 000 000 и 1 : 200 000. Плотность бурения и сейсморазведочных работ на изучаемой территории низкая. Более того, сейсморазведочные работы, проводившиеся большей частью в Вилюйской гемисинеклизе в 1960–1980-е гг., на данный момент малоинформативны. Низкое качество материала не позволяет его переобработать и увязать с современными разрезами. Стоит отметить, что в зоне сочленения Вилюйской гемисинеклизы и Предверхоанского прогиба, как и на всей территории Вилюйской гемисинеклизы, ни одна скважина не вскрыла кровлю кристаллического фундамента, а сейсмические исследования XX в. также не проводились до кровли кристаллического фундамента. Поэтому все предыдущие карты поверхности кровли кристаллического фундамента основывались только на априорных данных. В 2014–2016 гг. на территории исследования проводились сейсморазведочные работы по редкой сети профилей: пять поперечных и один продольный. В 2018 г. выполнялись сейсморазведочные работы по речному профилю вдоль р. Лена (профиль р. Лена — исполнитель АО НПГА «Луч»).

Методика обработки данных сейсморазведки

Сейсморазведочные данные, полученные в 2014–2016 гг., а также речной профиль по р. Лена обрабатывались в лаборатории обработки АО «СНИИГТиМС». Для этого использовались программные комплексы ProMAX (Halliburton/Landmark), Geocluster (CGG), а также пакет программ BONUS (автор А.А. Евдокимов). Согласно сейсмическому материалу, восточное обрамление Сибирской платформы характеризуется достаточно сложными глубинными сейсмогеологическими условиями. Поведение сейсмических горизонтов не выдержано по латерали. Широко развитая разрывная тектоника [1–3], складчатость и внедрение траппов обуславливают местами сложную интерференционную картину отраженных волн, осложненную дифрагированными, боковыми и поверхностными волнами-помехами.

Особый интерес представляет профиль речных сейсморазведочных работ, протянувшийся с севера на юг вдоль Предверхоанского краевого прогиба и продолжающий серию опорных региональных речных профилей на территории Восточной Сибири. Ранее речные сейсмопрофили были отработаны по р. Лена в среднем – верхнем течении в 2006–2008 гг. ООО «Геофизическая служба» СО РАН, по р. Ангара и ее притокам Чуна и Бирюса в 2008–2009 гг. Богучанской геофизической экспедицией и АО «Енисей-геофизика», в 2012–2014 гг. по р. Нижняя Тунгуска с

притоками Кочечум и Тутончана АО «СНИИГТиМС» с привлечением ООО «Донгеофизика», ООО «Богучанская ГФ» и ООО «Геофизическая служба» СО РАН [4, 5].

Анализ и обработка первичных полевых данных по восточно-сибирским рекам показывают, что они значительно отличаются от данных традиционных наблюдений на суше. Особенности речных материалов связаны, прежде всего, с технологией проведения полевых работ, нерегулярной системой наблюдения и орогидрографическими условиями, не характерными для наземных работ. Отметим основные особенности данных речных сейсморазведочных работ.

1. Речной профиль представляет извилистую линию, что обусловлено траекторией русла реки. Вместо стандартного способа формирования сейсмограмм ОСТ применяется криволинейное бинирование. Необходимо тестирование параметров (размеров и форм) бинов, поскольку от их выбора в значительной степени зависит результат обработки. Кроме того, траекторию русла необходимо учитывать и при интерпретации данных, поскольку геологические структуры пересекаются линией профиля в различных направлениях.

2. Технология производства полевых работ не всегда гарантирует точное определение местоположения пунктов возбуждения. Необходимо контролировать и уточнять координаты местоположения пунктов приема (ПП) и возбуждения (ПВ) с помощью алгоритмов, основанных на использовании времен первых вступлений волн.

3. Зарегистрированные сейсмограммы имеют низкое значение отношения сигнал/помеха, обусловленное высоким уровнем помех природного и техногенного характера. Это шумы, сопровождающие течение воды, движение судов, поверхностные волны-помехи, кратные волны, реверберации, связанные с наличием водного слоя и др. Такие условия требуют более сложных графов сигнальной обработки сейсмограмм, чем при стандартных наземных работах.

4. Технология проведения полевых работ характеризуется крайне нерегулярной системой наблюдений, в результате чего данные имеют следующие недостатки:

- неравномерное заполнение бинов (неравномерное распределение трасс по классам удалений);
- кратность вдоль профиля неравномерна и резко меняется;
- ряд участков съемки характеризуется избыточной кратностью.

5. Система наблюдений на речных профилях обычно является обращенной. Судно-источник курсирует вдоль зафиксированной приемной расстановки и производит возбуждение сейсмического сигнала, как правило, с шагом меньшим, чем расстояние

между приемниками. По этой причине пространственная дискретизация данных в сейсмограммах общего пункта приема (ОПП) выше, что может быть использовано при подавлении регулярных помех.

6. Линия наблюдения является практически плоской, это упрощает верхнюю часть разреза и позволяет избежать проблем с пересчетом данных на линию приведения.

Обработка данных по р. Лена была выполнена с учетом указанных особенностей. Формирование сейсмограмм ОГТ осуществлялось по технологии криволинейного профиля с использованием прямоугольных бинов различной формы, что позволило более корректно описать изгибы линии профиля и избежать локальных скачков кратности. Поперечный размер бина выбирался экспериментально, путем анализа разрезов по одному из участков профиля, построенных на основе бинов различного размера. Было замечено, что в данных геологических условиях отношение сигнал/помеха на суммарном разрезе возрастает с увеличением поперечного размера бина без потери разрешенности. Таким образом, размер бина был выбран равным 3000 м.

Для учета верхней части разреза использовалось интерактивное приложение SDITR (Geocluster, CGG). Учитывая объем сейсмического материала (23 млн трасс и более 70 000 физических наблюдений, что сопоставимо с 3D-кубом средних размеров) и его качество в первых вступлениях, выполнить корреляцию преломленных волн по сейсмограммам общего пункта возбуждения (ОПВ) не представлялось возможным в требуемые сроки. Альтернативным и технологичным решением является методика учета верхней части разреза с использованием разрезов ОПВ/ОПП преломленных волн [6]. Эта методика обладает высокой помехоустойчивостью за счет суммирования годографа преломленной волны на некоторой базе удалений, а также скоростью реализации. Кроме того, приложение SDITR было использовано для уточнения местоположения координат ПВ и ПП.

В процессе сигнальной обработки было выполнено подавление высокоамплитудных помех до деконволюции в несколько итераций (по сейсмограммам в сортировках ОПВ и ОПП). Подавление регулярных помех линейного типа на первом этапе выполнялось в сортировке ОПП, а на более позднем этапе — в сортировке ОГТ. В условиях исключительно зашумленных данных был использован специальный подход к деконволюции, когда ее оператор рассчитывается по свободным от большинства регулярных и нерегулярных помех данным. После этого оператор применяется к практически исходным сейсмограммам (после подавления высокоамплитудных помех) и граф сигнальной обработки повторяется заново. Такой подход, несмотря на временные затраты, позволяет внести меньше искажений в оператор деконволюции и точнее оценить форму

импульса, что в результате позволяет получить более разрешенное и стабильное по своим амплитудно-частотным характеристикам волновое поле.

Как уже было отмечено, система наблюдений является крайне нерегулярной. Это, прежде всего, оказывает отрицательное влияние на миграционные преобразования до суммирования по алгоритму Кирхгофа. Кроме того, неравномерность распределения удалений в сейсмограммах ОСТ нарушает пространственную дискретизацию осей синфазности кратных и других регулярных волн-помех, что мешает работе алгоритмов их подавления в этой сортировке. Для устранения указанных особенностей данных была выполнена регуляризация, которая рассчитывает новые позиции для ПВ и ПП для обеспечения постоянства набора удалений в подборках ОСТ. Недостающие трассы при этом были интерполированы на заданную сетку удалений, а избыточные — усреднены и объединены. Выполненная по речным данным регуляризация позволила создать благоприятные условия для подавления кратных волн по сейсмограммам ОСТ, улучшить результат миграции до суммирования, а также способствовала более качественному суммированию за счет того, что в каждой ОГТ присутствовал одинаковый набор удалений. Миграция до суммирования выполнялась в два этапа: на первом этапе со скоростями суммирования, а на втором — в режиме трассировки лучей (VTI) с подключением библиотеки негиперболических параметров, пропикированных по мигрированным сейсмограммам после первого этапа. Такой подход позволил получить более когерентный сигнал в результате суммирования за счет устранения эффекта «клюшки», вызванного анизотропией среды. В результате выполненной обработки построен временной разрез обладающий высокой информативностью (рис. 1).

Методика обработки данных ретроспективной грави- и магниторазведки

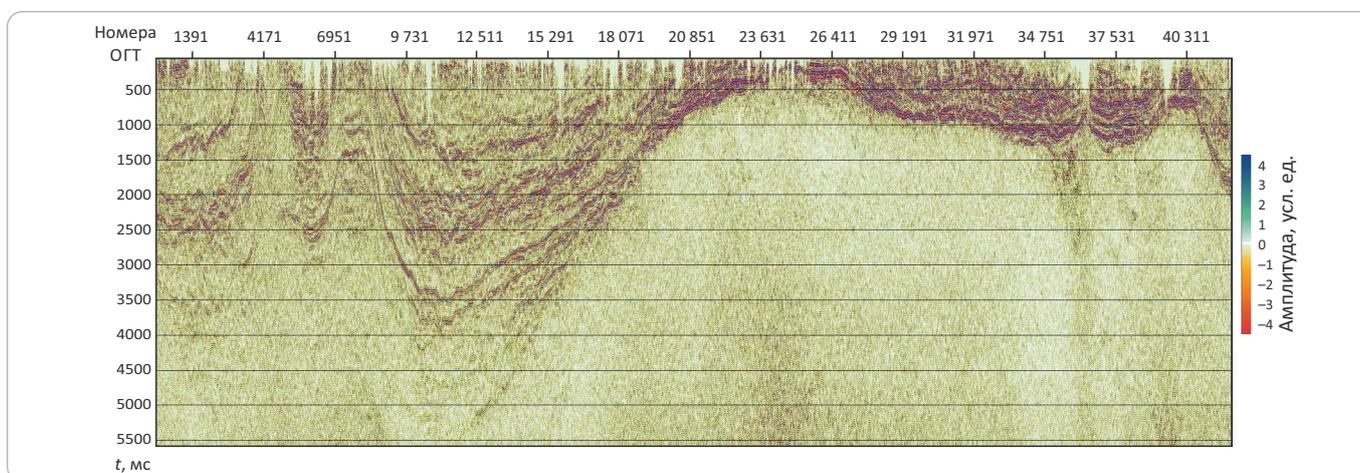
Комплексная модель геологического строения изучаемой территории была построена на основе новейших сейсморазведочных данных по профилю вдоль р. Лена с привлечением данных грави- и магниторазведки, их преобразований, а также построенных пространственных моделей полей плотности и намагниченности по оригинальной авторской методике [7].

Трансформации и преобразования потенциальных полей выполнены для прогноза источника аномалий, изучения их морфологии, а также возможного вклада отдельных геологических объектов в суммарное наблюдаемое магнитное или гравитационное поле. Обработка данных происходила в три этапа. В качестве исходных данных использовались компилятивные карты аномалий гравитационного и магнитного полей масштабов 1 : 1 000 000 и 1 : 200 000.



GEOPHYSICAL SURVEYS

Рис. 1. Фрагмент временного разреза высокой информативности по профилю р. Лена (положение профиля см. на рис. 2)
Fig. 1. Fragment of highly informative time section along the Lena River (section line position is shown in Fig. 2)



Первый этап — в комплексе спектрально-корреляционного анализа трехмерных геоданных «КО-СКАД 3D» [8] рассчитаны многочисленные трансформанты гравитационного и магнитного полей: разложение полей на низко-, средне-, высокочастотные составляющие; вычисление градиента поля; расчет обычного коэффициента корреляции между полями в скользящем трехмерном окне; вычисление оригинальной модификации одномерной адаптивной фильтрации для трассирования осей аномалий гравитационного и магнитного полей и расчет значений основных статистических моментов для гравитационного и магнитного полей.

На рис. 2 приведены 3D-проекции аномальных гравитационного и магнитного полей и их наиболее показательные трансформанты.

Разложение полей на составляющие методом двумерной адаптивной фильтрации позволило оценить характеристики распределения плотностных и магнитных неоднородностей в нижней, средней и верхней частях изучаемого разреза (до 20 км). В результате пересчетов было выделено три типа поля: низкочастотное (региональное) — 35–55 км, среднечастотное (локальное 1-го порядка) — 20–30 км, высокочастотное (локальное высоких порядков) — до 1–2 км. На рис. 2 представлены карты локального (среднечастотного) и регионального (низкочастотного) поля.

Гравитационное поле исследуемой территории неоднородно (см. рис. 2 А). Приращение силы тяжести изменяется от –150 до 40 мГал. К западу и северо-западу от профиля р. Лена выделяется серия обширных положительных аномалий — изометричных и линейных северо-западного простирания, характеризующих Анабарскую антеклизу. Вдоль профиля р. Лена, к востоку от него и на юге рассматриваемой территории наблюдается резкое понижение уровня поля, характеризующее Предверхоанский краевой прогиб и Вилюйскую гемисинеклизу. Протяженная

с севера на юг линейная зона градиентов гравитационного поля — «гравитационных ступеней» разной интенсивности и направленности в центральной части изучаемой территории отвечает оси надвигового фронта Верхоянского складчато-надвигового пояса. Восточная часть, отделенная от остальной территории гравитационной ступенью, интерпретируется как Верхоянский складчато-надвиговой пояс.

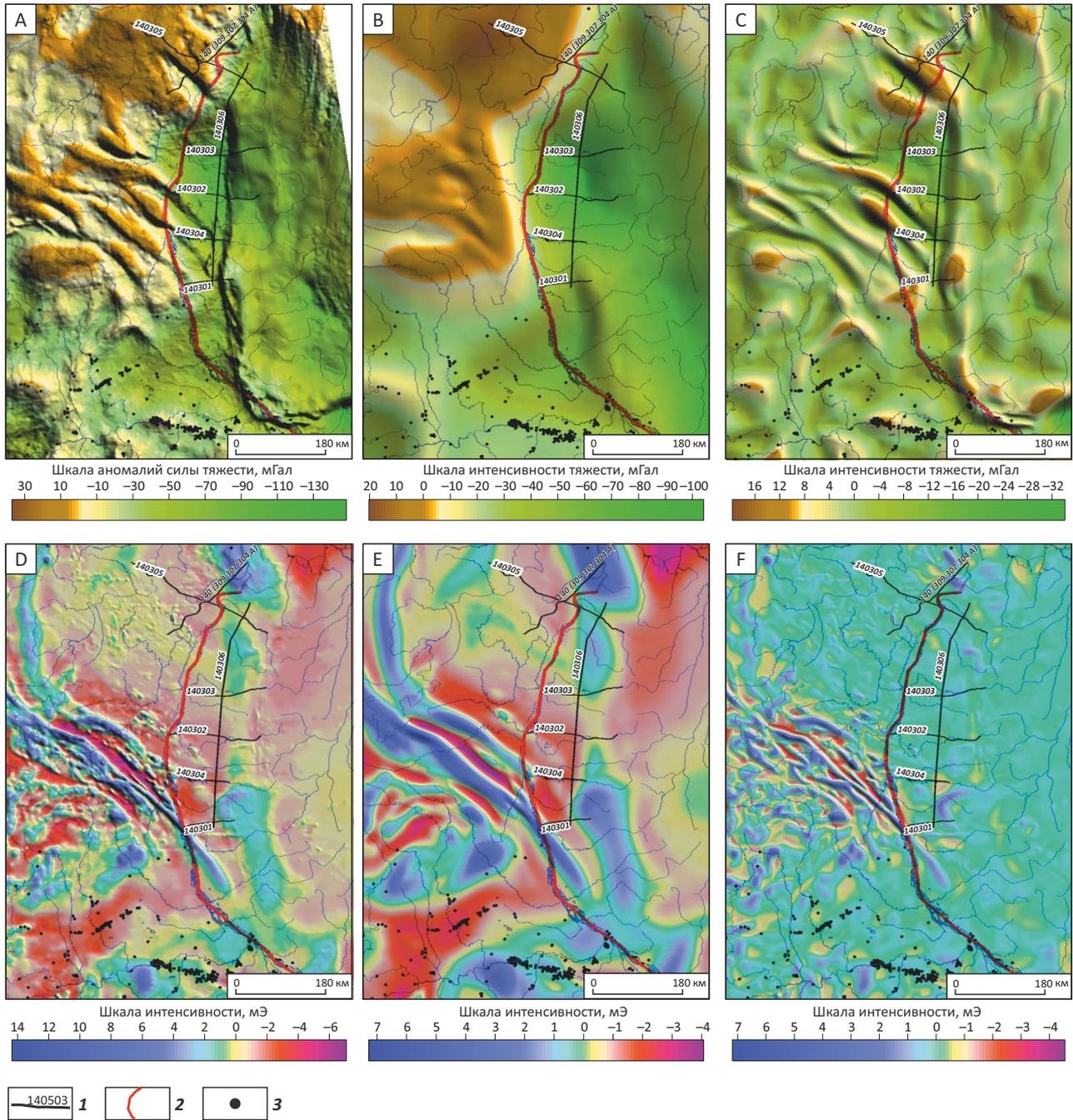
Региональное (низкочастотное) гравитационное поле (см. рис. 2 В) отражает распределение наиболее крупных плотностных неоднородностей в нижней части земной коры и верхней мантии. Наибольший уровень поля характерен для Сибирской платформы. Максимальные значения низкочастотного гравитационного поля до 25 мГал свойственны Оленекскому поднятию. Интенсивность поля Вилюйской синеклизы изменяется от –30 до –65 мГал. Самый низкий уровень поля характерен для Предверхоанского прогиба — до –110 мГал. Верхоянского складчато-надвиговой пояс охарактеризован постепенным повышением уровня регионального поля до –10 мГал.

Среднечастотное (локальное) гравитационное поле (см. рис. 2 С) отражает распределение плотностных неоднородностей в средней коре. Общий рисунок поля отражает положение надпорядковых структур, влияние элементов глубинного геологического строения исключено.

Локальная высокочастотная составляющая гравитационного поля отражает распределение плотностей в верхней части разреза — до 1–2 км. На большей части отчетной территории распределение максимумов и минимумов хаотичное. Подобное строение высокочастотной составляющей гравитационного поля может быть объяснено тем, что все основные аномалиеобразующие объекты предположительно расположены ниже осадочного чехла.

Аномальное магнитное поле на отчетном участке отличается сложным и неоднородным строением

Рис. 2. 3D-проекция аномальных гравитационного и магнитного полей и их наиболее показательные трансформанты
Fig. 2. 3D view of gravity and magnetic anomalous fields and their most significant transforms



Карты: А — аномального гравитационного поля, В — регионального (низкочастотного) гравитационного поля, С — локального (среднечастотного) гравитационного поля, Д — аномалий магнитного поля, Е — низкочастотной составляющей аномального магнитного поля, Ф — среднечастотной составляющей аномального магнитного поля.

1 — сейсмические профили и их номера; 2 — профиль по р. Лена; 3 — скважины

Maps: А — anomalous gravity field, В — regional (low-frequency) gravity field, С — local (mid-frequency) gravity field, Д — magnetic field anomalies, Е — low-frequency component of anomalous magnetic field, Ф — mid-frequency component of anomalous magnetic field.

1 — seismic lines and their numbers; 2 — section along the Lena River; 3 — wells

GEOPHYSICAL SURVEYS

(см. рис. 2 D). Интенсивность поля изменяется от -7 до 14 мЭ. По интенсивности поля можно выделить три основные аномальные зоны. Верхоянский складчато-надвиговый пояс на востоке территории представлен выположенными слабоотрицательными аномалиями. Минимальные значения достигают $-3,5$ мЭ на севере складчатого пояса. В центральной части участка можно выделить протяженную с севера на юг зону слабopоложительных удлинённых аномалий со средним фоном от -7 до 2 мЭ и повышающимися значениями до $7,5$ мЭ на севере, соответствующую Предверхоянскому краевому прогибу. Восточная окраина Сибирской платформы представлена неоднородным магнитным полем. На северо-востоке Анабарской антеклизы характер распространения аномалий мозаичный с интенсивностью от 1 до -1 мЭ, южнее зафиксированы линейные контрастные аномальные зоны обоих знаков северо-западного простирания. Вкрест простирания их размеры не превышают 20 км, а протяженность достигает 500 км. Экстремальные значения аномалий достигают -8 и 15 мЭ. Южная часть Анабарской антеклизы охарактеризована изометричными, линейными и дугообразными аномалиями обоих знаков с крайне невыдержанными размерами и ориентировкой. Интенсивность отдельных экстремумов изменяется от -5 до 10 мЭ. Виллюйская синеклиза в аномальном магнитном поле прослеживается, как и Предверхоянский краевой прогиб, по постепенному снижению магнитного поля от -2 до 5 мЭ. Традиционно природа максимумов аномального магнитного поля связывается с породами ультраосновного-основного состава интрузивного и вулканогенного происхождения. То, что на большей части описываемой территории положительные аномалии «выположены», может свидетельствовать о том, что магнитоактивные объекты находятся глубоко под толщей осадочного чехла. Зоны низкой интенсивности магнитного поля могут быть обусловлены немагнитными породами, в том числе и гранитоидами. Интенсивные линейные зоны положительных магнитных аномалий северо-западного простирания контролируют зоны тектонического меланжа (Оленекская и Белляхская), разделяющие террейны протократонов и гранулитовых поясов [3, 9]. Зоны тектонического меланжа представляют собой линейные участки земной коры, охарактеризованные тектоническими смещениями (сдвигами и надвигами).

Региональное (низкочастотное) поле (см. рис. 2 E) характеризует магнитную среду на глубине $15-20$ км. Интенсивность низкочастотного поля изменяется от -4 до 7 мЭ. Очевидно, что региональное магнитное поле по своей структуре сходно с аномальным магнитным полем, что свидетельствует о глубинном заложении всех аномалиеобразующих объектов.

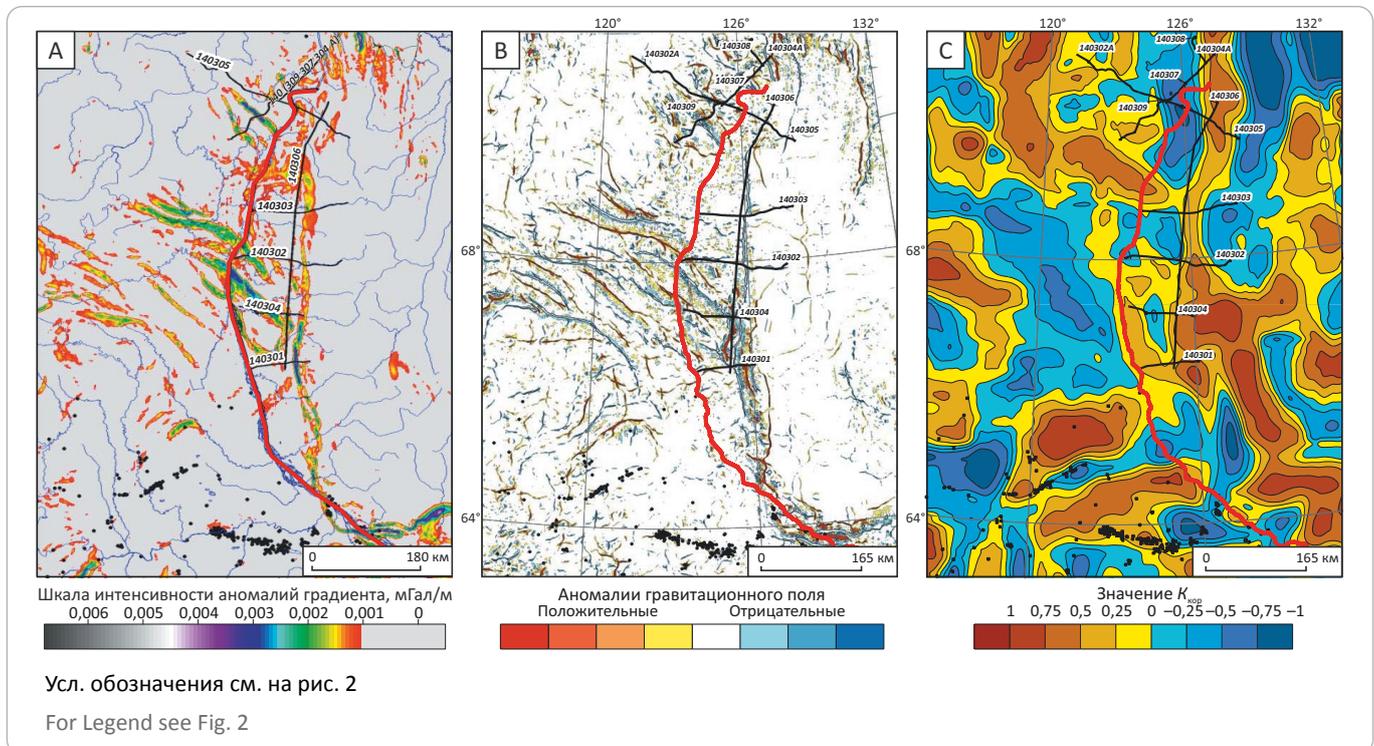
Среднечастотное магнитное поле (см. рис. 2 F) отражает магнитную картину в интервале осадочного

чехла. Предельные амплитуды аномалий колеблются от -4 до 7 мЭ. На представленной трансформанте крупные надпорядковые структуры не отражаются, за исключением линейных зон интенсивных магнитных аномалий обоих знаков северо-западного простирания. В среднечастотном поле природа этих аномалиеобразующих объектов может связываться с молодинским роем даек, образовавшимся, вероятно, в девонское время. Формирование протяженных поясов даек сопровождало становление палеорифтов, в частности Виллюйского и Оленекского ответвлений Предверхоянского палеорифта. Дайки имеют субвертикальное падение и приурочены к разломам северо-западного простирания. Мощность даек колеблется от $3-4$ до $40-60$ м, протяженность — до $30-50$ км. Петрографически дайки представлены долеритами и габбро-долеритами [10].

Полный градиент гравитационного поля (рис. 3 A) и карта трассирования осей аномалий гравитационного поля (см. рис. 3 B) рассчитаны для выделения глубинных тектонических нарушений. Вычисление градиента поля проведено методом определения градиентных характеристик поля. Анализ градиентных характеристик позволяет получить дополнительную информацию об особенностях геополя. Контрастно выделяются границы аномальных объектов, что позволяет при визуализации увидеть одновременно контуры аномалий различной амплитуды. *Полный градиент гравитационного поля* (см. рис. 3 A) в первую очередь характеризует положение разрывных нарушений, имеющих крутое заложение и прослеживающихся до глубинных слоев. Интенсивность аномалий градиента изменяется от $0,01$ до $0,067$ Э. По направленности можно выделить два типа зон градиентов: зону, протяженную в меридиональном направлении более чем на 750 км и характеризующуюся невысокими амплитудами, и серию высокоамплитудных зон северо-западного простирания длиной от 100 до 300 км. Ось зоны меридионального простирания соотносится с надвиговым фронтом Верхоянского складчато-надвигового пояса. Низкая интенсивность аномалий свидетельствует о пологом залегании контактирующих поверхностей. Оси высокоамплитудных зон градиентов северо-западного простирания могут классифицироваться как линейные грабены, авлакогены, начинающиеся в районе фронта Верхоянского складчато-надвигового пояса и затухающие вглубь платформы. Трассирование осей аномалий гравитационного поля вычислено с помощью оригинальной модификации одномерной адаптивной фильтрации (см. рис. 3 B). Результаты трассирования осей аномалий гравитационного поля, представленные в виде карты линеаментов пространственной выдержанности аномалий потенциальных полей, отражают основные направления простирания аномалий по территории исследования. Очевидно, что основные

Рис. 3. Полный градиент гравитационного поля — 3D-проекция с примером трассирования тектонических нарушений (A), трассирование осей аномалий гравитационного поля (B) и распределение коэффициента корреляции между гравитационным и магнитным полем (C)

Fig. 3. Full gravity field gradient — 3D projection with an example of tectonic fault tracking (A), tracking of gravity field anomaly axes (B) and distribution of correlation coefficient between gravity and magnetic fields (C)



плотности линейментов представлены субдолготным и северо-западным направлением.

Распределение коэффициента корреляции между магнитным и гравитационным полями (см. рис. 3 C) в скользящем окне дает возможность выделить области наличия и отсутствия корреляции (взаимосвязи) между полями, что эффективно используется в задачах геологического районирования и картирования. На карте показаны области наличия и отсутствия прямой и обратной корреляционной зависимости между гравитационным и магнитным полями. Области наличия корреляционной зависимости представлены наиболее темными цветами — желто-коричневой гаммой для прямой и синей гаммой для обратной корреляции. Области высоких значений коэффициента корреляции показывают участки тесной положительной и отрицательной статистической связи магнитных и гравитационных параметров, что позволяет наиболее объективно установить природу аномалиеобразующих объектов в рамках изучения строения архей-протерозойского фундамента. Например, значимый положительный коэффициент корреляции свидетельствует о присутствии образований с повышенной основностью (высокая плотность при высокой намагниченности). Отрицательный коэффициент корреляции может свидетельствовать о гранитоидной природе объекта (низкая плотность и высокая намагниченность) или о

высокой степени метаморфизма (высокая плотность и низкая намагниченность). Высокий коэффициент корреляции обоих знаков является объективной характеристикой, позволяющей конкретизировать природу аномалиеобразующих объектов в определенной геологической обстановке. Распределение коэффициента корреляции специфично в пределах выделенных структур высокого порядка. Так, надвиговая структура на границе Сибирской платформы характеризуется высокими положительными значениями коэффициента корреляции. На Сибирской платформе площади с аномальным коэффициентом корреляции характеризуются относительно небольшими размерами при широтной ориентировке на Вилуйской синеклизе и северо-западной ориентировке севернее.

Представленные результаты преобразований позволили авторам статьи в комплексе прогнозировать наличие и конфигурацию аномалиеобразующих объектов в нижней части земной коры и в верхней мантии, в средней части коры и в верхней части разреза, на глубине около 1–2 км, а также определить направление и положение глубинных разрывных нарушений.

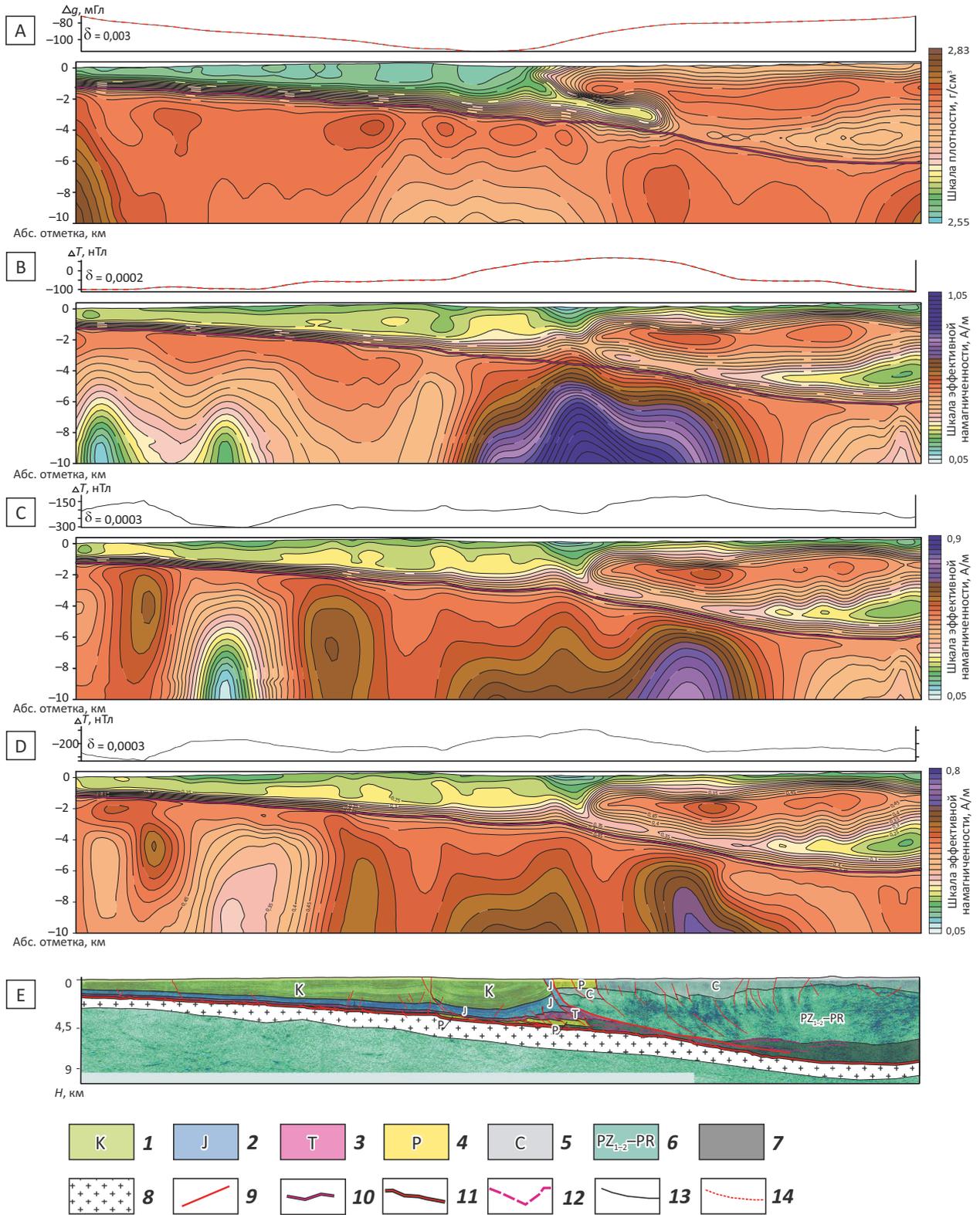
На втором этапе осуществлялось построение плотностных и магнитных моделей вдоль сейсмических глубинных профилей. Построения выполнялись по авторской методике на основе вычисления их



GEOPHYSICAL SURVEYS

Рис. 4. Геолого-геофизическая модель строения осадочного чехла Предверхоьянского краевого прогиба по профилю 140304 (положение профиля см. на рис. 2)

Fig. 4. Geological and geophysical model of sedimentary cover architecture along 140304 Line in Predverkhoyansky Foreland Basin (section line position is shown in Fig. 2)



Усл. обозначения к рис. 4

Legend for Fig. 4

A — плотностная модель; магнитные модели (B–D): B — эффективная намагниченность, C — индуктивная намагниченность, D — остаточная намагниченность; E — сейсмогеологический разрез.

Отложения (1–7): 1 — меловые, 2 — юрские, 3 — триасовые, 4 — пермские, 5 — каменноугольные, 6 — нерасчлененные нижнего палеозоя – протерозоя; 7 — тектонические брекчии; 8 — кристаллический фундамент; 9 — разрывные нарушения; 10 — кровля кристаллического фундамента (A–D); 11 — кровля кристаллического фундамента (E); 12 — условные поверхности складчато-надвиговых деформаций; 13 — наблюдаемое поле; 14 — вычисленное поле

A — density model; magnetic models (B–D): B — effective magnetization, C — induced magnetization, D — remanent magnetization; E — geoseismic section.

Deposits (1–7): 1 — Cretaceous, 2 — Jurassic, 3 — Triassic, 4 — Permian, 5 — Carboniferous, 6 — poorly defined Lower Palaeozoic – Proterozoic; 7 — tectonic breccia; 8 — crystalline Basement; 9 — faults; 10 — crystalline Basement Top (A–D); 11 — crystalline Basement Top (E); 12 — conditional surfaces of fold-and-thrust deformations; 13 — observed field; 14 — calculated field

плотностных и магнитных характеристик методами подбора путем решения системы линейных алгебраических уравнений с помощью разработанной авторами программы «Geolab» [11].

Геометрия разрезов формировалась на основе отражающих сейсмических границ, совпадающих со стратиграфическими горизонтами, и уточнялась на основе решения обратных задач для плотностной и магнитной моделей отдельно с использованием физических свойств пород применительно к условиям данного региона.

Далее по гравитационным полям конструировалась плотностная модель, а по магнитным — три магнитных модели: поля эффективной намагниченности, поля индуктивной намагниченности и поля остаточной намагниченности. Две последние модели определяются как слагаемые векторной суммы поля эффективной намагниченности [12].

Комплексные геолого-геофизические модели построены вдоль всех сейсмических профилей 2014–2016 гг. На рис. 4 приведена геолого-геофизическая модель строения осадочного чехла Предверхоянского краевого прогиба по профилю 140303, включающая плотностную и магнитные модели (эффективная намагниченность, индуктивная намагниченность, остаточная намагниченность) и сейсмогеологический разрез.

Плотностная модель

На плотностной модели (см. рис. 4 А) отражено распределение плотностей по разрезу до глубины 10 км и показана условная линия кровли кристаллического фундамента, прогнозируемая по плотностным характеристикам разреза. Для пород осадочного чехла характерны низкие значения плотности (от 2,5 до 2,69 г/см³), постепенно повышающиеся с глубиной. Для осадочного чехла повсеместно типично субпараллельное залегание слоев с постепенным погружением в восточном направлении. Осадочная толща дифференцируется по плотности — так, терригенные отложения мела характеризуются плотностями, не превышающими 2,59–2,6 г/см³. Отложения Верхоянского складчато-надвигового пояса имеют более высокие значения плотности — от 2,67 до

2,75 г/см³. Соответственно, надвиговый фронт Верхоянского складчатого пояса на плотностной модели характеризуется резким градиентом значений плотности и низкоплотным «клином» в районе основного надвига. Подобный «клин» можно интерпретировать как зону деструкции пород с соответствующим понижением плотности.

Магнитные модели

Магнитные модели представлены разрезами и графиками поля эффективной, индуктивной и остаточной намагниченности.

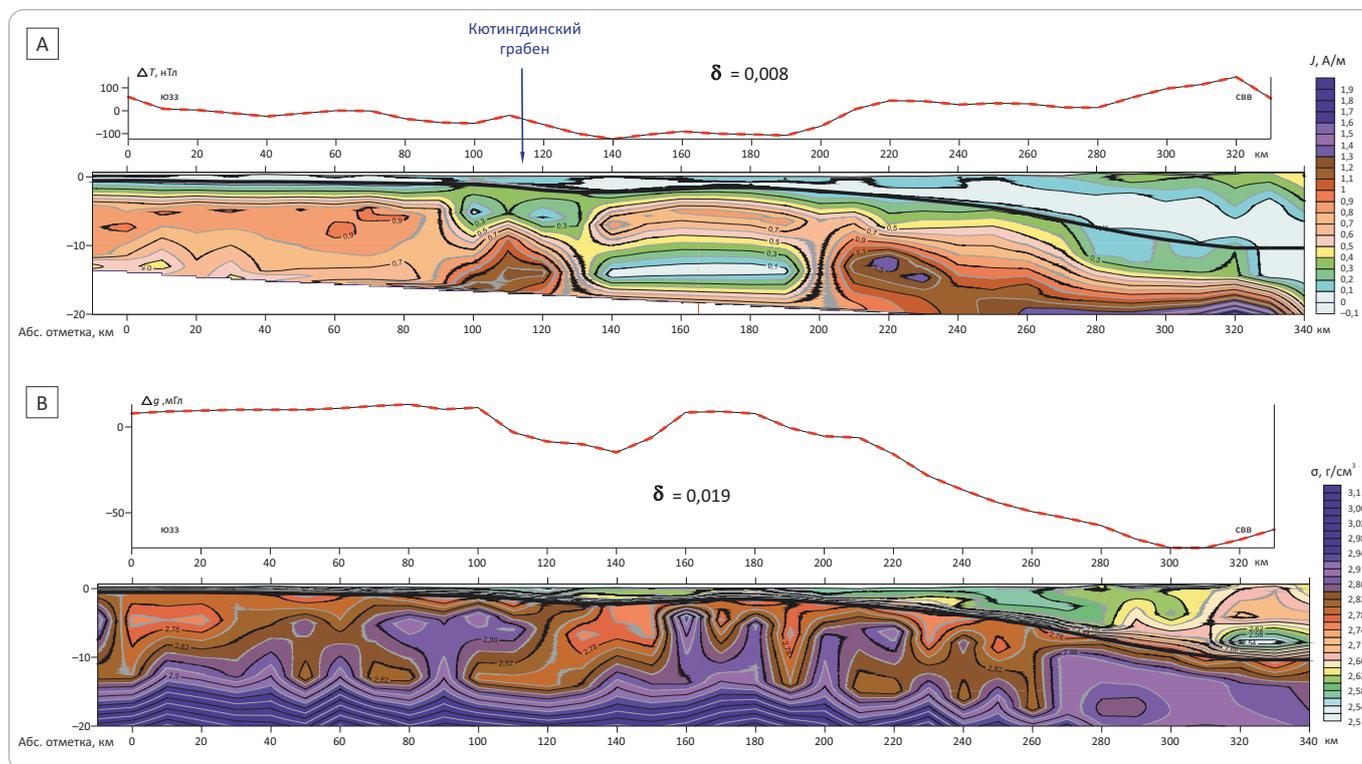
На разрезах эффективной намагниченности, вычисляемой по наблюдаемому магнитному полю, отмечается дифференциация отложений осадочного чехла, складчатого пояса и фундамента (см. рис. 4 В). Породы осадочного чехла Сибирской платформы имеют низкие значения эффективной намагниченности. Средние значения типичны для отложений складчатого пояса, а кристаллический фундамент охарактеризован преимущественно высокими значениями. Надвиговый фронт Верхоянского складчатого пояса на модели характеризуется градиентом значений эффективной намагниченности и слабомагнитным «клином» в районе основного надвига. Подобный «клин», как и на плотностной модели, характеризует зону деструкции пород. В толще кристаллического фундамента, в зоне сочленения Предверхоянского краевого прогиба и Верхоянского складчато-надвигового пояса, выделяется блок высоких значений эффективной намагниченности, соответствующий, по-видимому, крупному гипербазитовому массиву.

Индуктивная намагниченность отражает особенности намагниченности горных пород в современном геомагнитном поле (см. рис. 4 С). Очевидно, что в целом современное геомагнитное поле не влияет на отложения верхней части разреза. Изменения намагниченности горных пород под воздействием современного геомагнитного поля характерны для глубокозалегающих пород кристаллического фундамента. Блоки с высокими значениями индуктивной намагниченности могут расцениваться как интрузивы ультраосновного-основного состава, понижен-



GEOPHYSICAL SURVEYS

Рис. 5. Пример магнитной (А) и плотностной (В) моделей земной коры по одному из расчетных профилей
Fig. 5. An example of magnetic (A) and density (B) models of the Earth's crust along one of the calculation profiles



ные значения намагниченности свидетельствуют о наличии в геологическом разрезе интрузивов кислого состава. Узкие линейные зоны резкого градиента индуктивной намагниченности можно интерпретировать как зоны крупных тектонических нарушений.

Остаточная намагниченность представляет, по сути, палеомагнитную модель строения разреза. В целом для изучаемой территории характерна унаследованность строения магнитного поля (см. рис. 4 D), свидетельствующая о древнем заложении основных аномалиеобразующих объектов.

Сейсмогеологический разрез, представленный на рис. 4 E, построен на основе Государственной геологической карты СССР 1975 г. масштаба 1 : 1 000 000 и интерпретации сейсмических данных по профилю 140304 с учетом вышеописанных геофизических моделей.

На третьем этапе на основе решения прямых и обратных задач была построена объемная конструкция фрагмента земной коры в виде прямоугольника размером 330 × 900 км по 46 расчетным профилям. Длина каждого профиля составляла 330 км, глубина — 10 км, расстояние между профилями — 20 км. Они пересекают Предверхожанский краевой прогиб вкострости основных тектонических структур. Работа выполнялась с использованием программы «Geolab». По каждому профилю были рассчитаны плотностные и магнитные модели строения земной

коры. На моделях уверенно выделяются: кристаллический фундамент, особенности строения отложений осадочного чехла платформы и отложения складчатого пояса. На рис. 5 приведен пример магнитной и плотностной моделей земной коры по одному из расчетных профилей. На обеих моделях отчетливо выделяется кристаллический фундамент, который характеризуется повышенными значениями плотности и намагниченности. На магнитной модели, в зоне развития Кютингдинского грабена, отмечается крупная магнитная аномалия с пониженными значениями намагниченности.

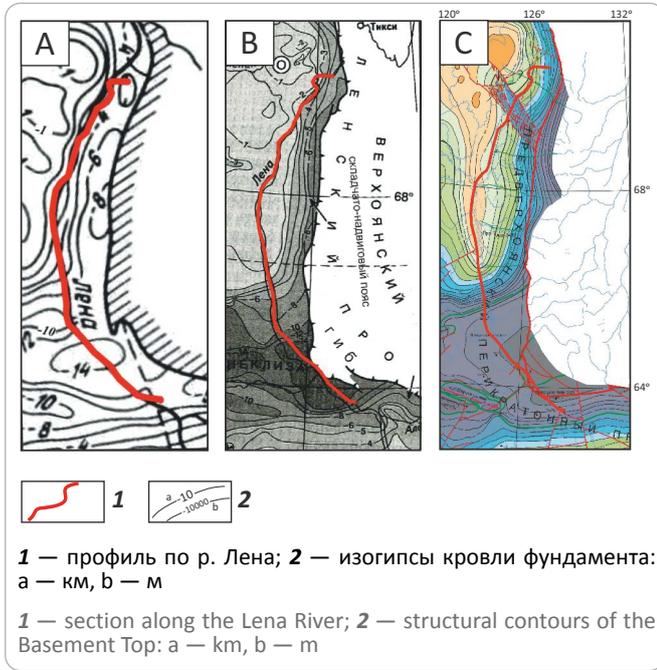
По кровле кристаллического фундамента и подошве отложений юры были получены пространственные плотностные и магнитные модели, а также рассчитаны карты рельефа стратиграфических уровней.

Структурно-тектоническая карта по кровле кристаллического фундамента

Структурные карты по кровле тектонического фундамента в пределах изучаемой территории строились многими исследователями на основе комплексных геолого-геофизических исследований. На рис. 6 представлены фрагменты карт рельефа кристаллического фундамента Сибирской платформы, составленные различными авторскими коллективами в разные годы. Так, в 1987 г. (см. рис. 6 A) в работе [13] была опубликована карта, составленная с использованием материалов глубинного сейсмического

Рис. 6. Фрагменты карт рельефа кристаллического фундамента Сибирской платформы 1987 г. (А) [12], 2001 г. (В) [3], 2016 г.¹ (С)

Fig. 6. Fragments of crystalline Basement topography within the Siberian Platform: 1987 (A) [12], 2001 (B) [3], 2016¹ (C)



зондирования, а также по грави- и магнитометрическим данным. На рис. 6 В представлен фрагмент карты рельефа кристаллического фундамента востока Сибирской платформы, составленной Ю.Х. Протопоповым [3]. Очевидна значительная детализация карты, преимущественно в районе Вилюйской синеклизы. Кютингдинский грабен появляется на карте 2016 г., фрагмент которой представлен на рис. 6 С. Эта карта была опубликована в геологическом отчете ФГБУ «ВНИГНИ»¹. Карта 2016 г. существенно детализирована за счет привлечения материалов сейсмических работ 2014–2016 гг. Уточнены границы и конфигурация Кютингдинского грабена, выделен ряд антиклинальных структур.

Авторами статьи предлагается модель строения поверхности кристаллического фундамента восточных частей Вилюйской гемисинеклизы и Анабарской антеклизы, Предверхоанского краевого прогиба и прилегающих территорий (рис. 7), построенная на основе анализа новейших сейсморазведочных данных в комплексе с интерпретацией потенциальных полей и их оригинальных преобразований, а также с учетом пространственных моделей полей плотности и намагнитченности и данных бурения.

¹Мигурский Ф.А., Смирнов М.Ю., Попов Д.Д. и др. Геологический отчет по объекту «Выполнить оценку перспектив нефтегазоносности районов перикратонного обрамления восточной части Сибирской платформы». – М.: ФГБУ «ВНИГНИ», 2016. – 1416 с.

В основе модели лежит структурно-тектоническая карта по кровле кристаллического фундамента, представленная на рис. 7. В результате проведенных комплексных геолого-геофизических исследований уточнена конфигурация известных структур и выявлен ряд новых.

На структурно-тектонической карте (см. рис. 7) представлены надпорядковые структуры, выделенные в соответствии с тектоническим кодексом [14] по единой изолинии –6500 м. Южную часть изучаемой территории охватывает Вилюйская гемисинеклиза, граничащая на севере с Анабарской антеклизой и Предверхоанским краевым прогибом. На северо-западе Анабарская антеклиза граничит с Лено-Анабарским прогибом, вдоль ее восточной границы протянулся Предверхоанский краевой прогиб.

Вилюйская гемисинеклиза осложнена структурами I порядка, оконтуренными по изолинии –10 500 м Линденской впадиной и Лунгхинско-Келлинским мегапрогибом. Строение восточной части Вилюйской гемисинеклизы в поперечном сечении представлено на сейсмическом разрезе по речному профилю р. Лена (рис. 8). Кристаллический фундамент погружается более чем на 12 км в Линденской впадине, и на представленном разрезе его кровля (сейсмическая граница F) прослеживается только на северном склоне впадины. В центральной части разреза выделяется линза пород Верхоянского складчатого-надвигового пояса, охарактеризованная хаотическим типом сейсмической записи и ограниченная по краям зоной разрывных нарушений базального надвига, дважды пересекаемого профилем.

Отложения аллохтона Предверхоанского краевого прогиба в зоне его сочленения с Вилюйской гемисинеклизой представлены породами мезозоя, перми, карбона, девона, кембрия и, возможно, рифея. Северная граница Вилюйской гемисинеклизы имеет рифтовую природу, что хорошо отражается на сейсмогеологическом разрезе по профилю р. Лена (см. рис. 8).

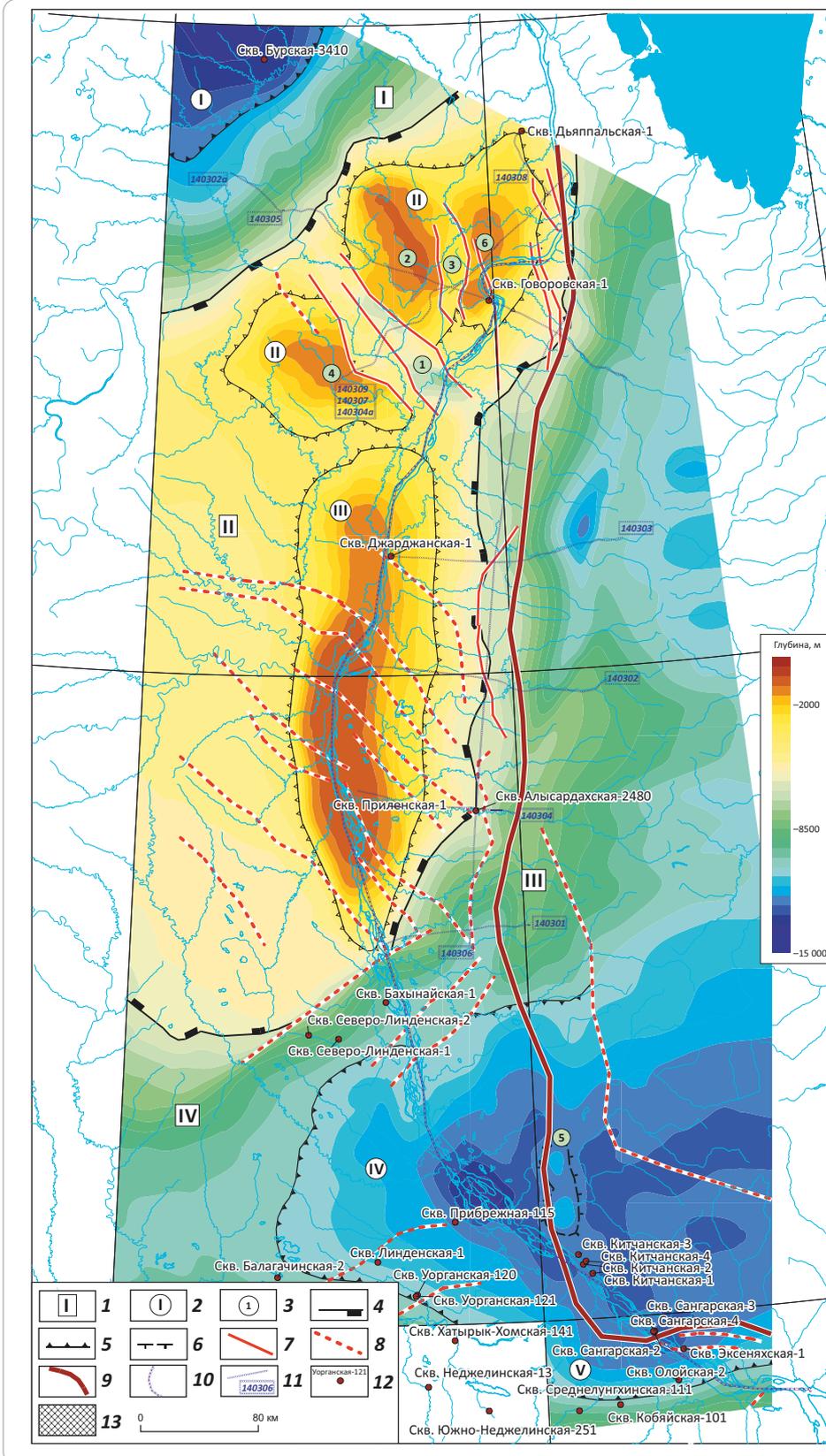
Китчанская антиклиналь оконтурена по кровле фундамента на структурной карте, построенной по результатам гравиразведки. Сейсмический речной профиль пересекает Китчанскую антиклиналь в южной периклинали, в районе Китчанских скважин, вскрывших сдвоенный разрез триаса, связанный с надвиговой пластиной. Китчанская антиклиналь оконтурена по изогипсе –12 250 м, ее размеры 23 × 65 км, амплитуда 550 м.

Анабарская антеклиза (см. рис. 7) представляет крупную надпорядковую структуру, объединяющую ряд поднятий докембрийского фундамента. Восточный склон Анабарской антеклизы осложнен Мунским и Оленекским сводами, выделенными по огибающей замкнутой изогипсе –3 км. Мунский свод имеет предположительно овальную форму, вытяну-

GEOPHYSICAL SURVEYS

Рис. 7. Структурно-тектоническая схема кровли кристаллического фундамента Ленской ветви Предверхоанского краевого прогиба, Вилуйской гемисинеклизы и прилегающих территорий

Fig. 7. Structural and tectonic scheme of the crystalline Basement Top in the Lena branch of the Predverkhoyansky Foreland Basin, Vilyuisky hemisyncline, and neighbouring areas

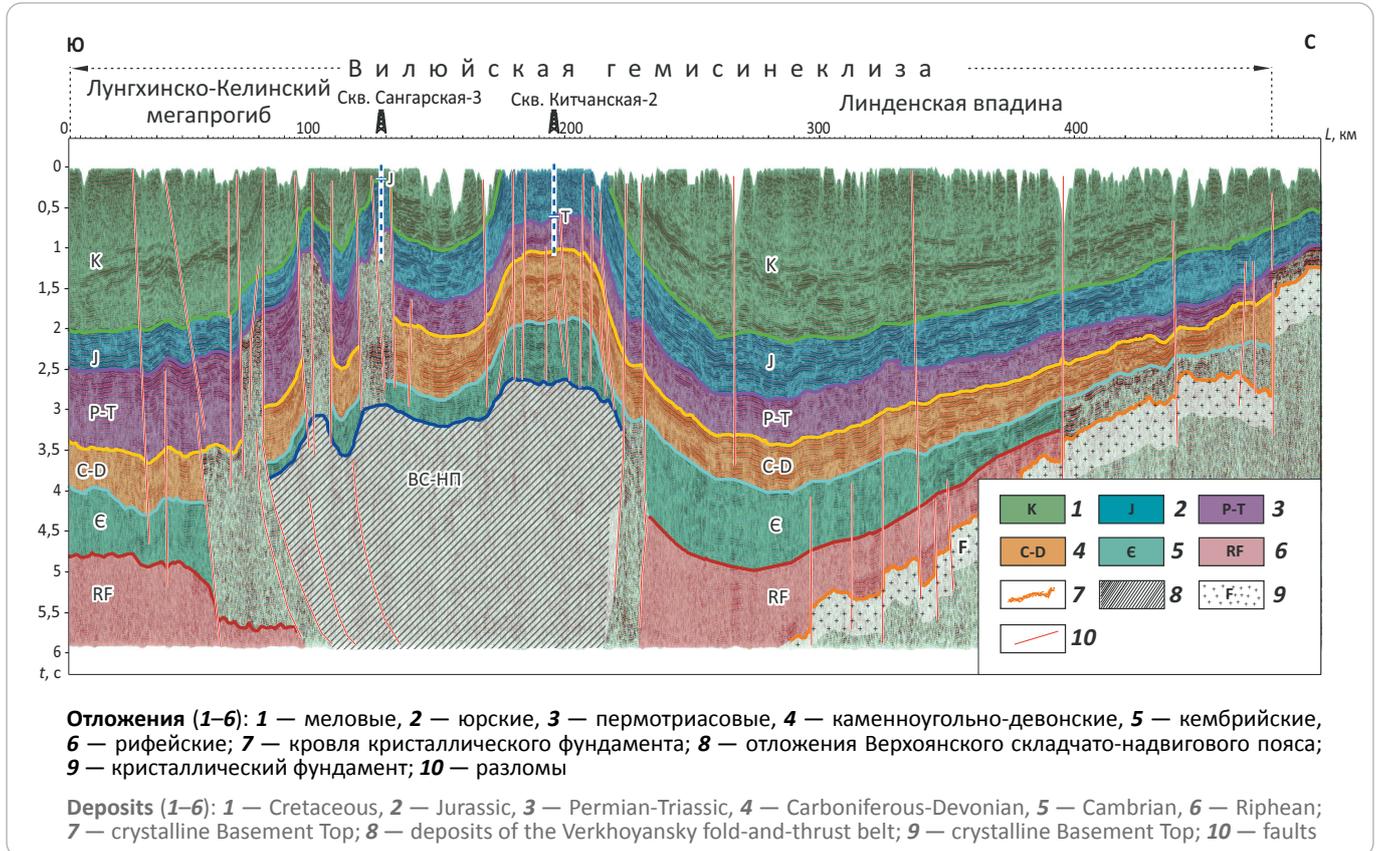


1 — надпорядковые структурные элементы (I — Лено-Анабарский прогиб, II — Анабарская антеклиза, III — Предверхоанский краевой прогиб, IV — Вилуйская гемисинеклиза); **2** — структурные элементы I и II порядков (I — Хастакская впадина, II — Оленекский свод, III — Мунский свод, IV — Линденская впадина, V — Лунгинско-Келинский мегапрогиб); **3** — структурные элементы III порядка (1 — Кютингдинский грабен, 2 — Солотийский выступ, 3 — Элиотийский грабен, 4 — Кютингдинское поднятие, 5 — Китчанская антиклиналь, 6 — Говоровский выступ); **границы (4-6)**: **4** — надпорядковых структурных элементов, **5** — структурных элементов I и II порядков, **6** — структурных элементов III порядка; **разломы (7, 8)**: **7** — достоверные, **8** — предполагаемые, выделенные по комплексу геофизических методов; **9** — основные надвиги; **10** — профиль по р. Лена; **11** — сейсмические профили 2014–2016 гг.; **12** — скважины, используемые при интерпретации; **13** — зона потери корреляции отражающего горизонта по кровле кристаллического фундамента

1 — super-order structural elements (I — Lena-Anabarsky trough, II — Anabarsky antecline, III — Predverkhoyansky Foreland Basin, IV — Vilyuisky hemisyncline); **2** — I-st and II-nd order structural elements (I — Khastakhsy depression, II — Oleneksky arch, III — Munsy arch, IV — Lindsensky depression, V — Lungkhinsko-Kelinsky megatrough); **3** — III-rd order structural elements (1 — Kyutingdinsky graben, 2 — Sololiisky uplift, 3 — Eliotioisky graben, 4 — Kyutingdinsky high, 5 — Kitchansky anticline, 6 — Govorovsky uplift); **boundaries (4-6)**: **4** — super-order structural elements, **5** — I-st and II-nd order structural elements, **6** — III-rd order structural elements; **faults (7, 8)**: **7** — reliable, **8** — expected, identified using a number of geophysical methods; **9** — major thrusts; **10** — section along the Lena River; **11** — seismic lines of the years 2014–2016; **12** — wells used in interpretation; **13** — blind zones of the reflector in the crystalline Basement Top

Рис. 8. Сейсмогеологическая модель строения зоны сочленения Предверхоханского краевого прогиба и Вилуйской гемисинеклизы по профилю р. Лена (положение профиля см. на рис. 2)

Fig. 8. Geoseismic model of architecture of the zone of Predverkhoyansky Foreland Basin and Vilyuisky hemisyncline joint along the Lena River profile (section line position is shown in Fig. 2)



тую в меридиональном направлении. Строение восточного склона Мунского свода обосновано по данным сейсморазведки, в то время как западный склон Мунского поднятия подтвержден только данными грави- и магниторазведки и не аргументирован сейсмической информацией.

Севернее Мунского свода расположен Оленекский свод. Кютингдинский и Элиотиийский (впервые выявленный) грабены осложняют его, разделяя на три выступа — Кютингдинский, Сололийский и Говоровский.

Кютингдинский грабен пересекает Оленекский свод в северо-западном направлении. Детализация строения грабена была сделана по разрезам вдоль трех сейсморазведочных профилей вкрест простирания структуры, отчетливо проявленной в аномалиях гравитационного поля, которая охарактеризована резким понижением значений силы тяжести с четкими границами. Разрывные нарушения, ограничивающие Кютингдинский грабен, интерпретируются по карте полного градиента гравитационного поля (рис. 9). Очевидно, что Кютингдинский грабен отчетливо интерпретируется на разрезах по профилям 140309 и р. Лена, наличие грабеновой структуры

на разрезе по профилю 140306 не подтверждается (рис. 10). На карте плотности, построенной по результатам преобразований гравитационного поля, Кютингдинский грабен проявляется низкоплотностной аномалией (рис. 11). На северо-западе в поперечном сечении грабен имеет ширину около 50 км и максимальную глубину около 4 км, на юго-востоке по профилю р. Лена ширина грабена по поверхности составляет около 35 км, глубина — более 7 км. Грабен имеет асимметричное строение с наиболее погруженным северным бортом.

Поверхность фундамента в Кютингдинском грабене интенсивно нарушена разрывами со срыво-сдвиговой составляющей, имеет ступенеобразное строение и представлена серией блоков. Самый глубокий блок погружен на глубину более 7 км.

Осадочное выполнение грабена представлено предположительно верхнепротерозойскими и палеозойскими отложениями, перекрытыми породами пермотриасового и юрского комплекса.

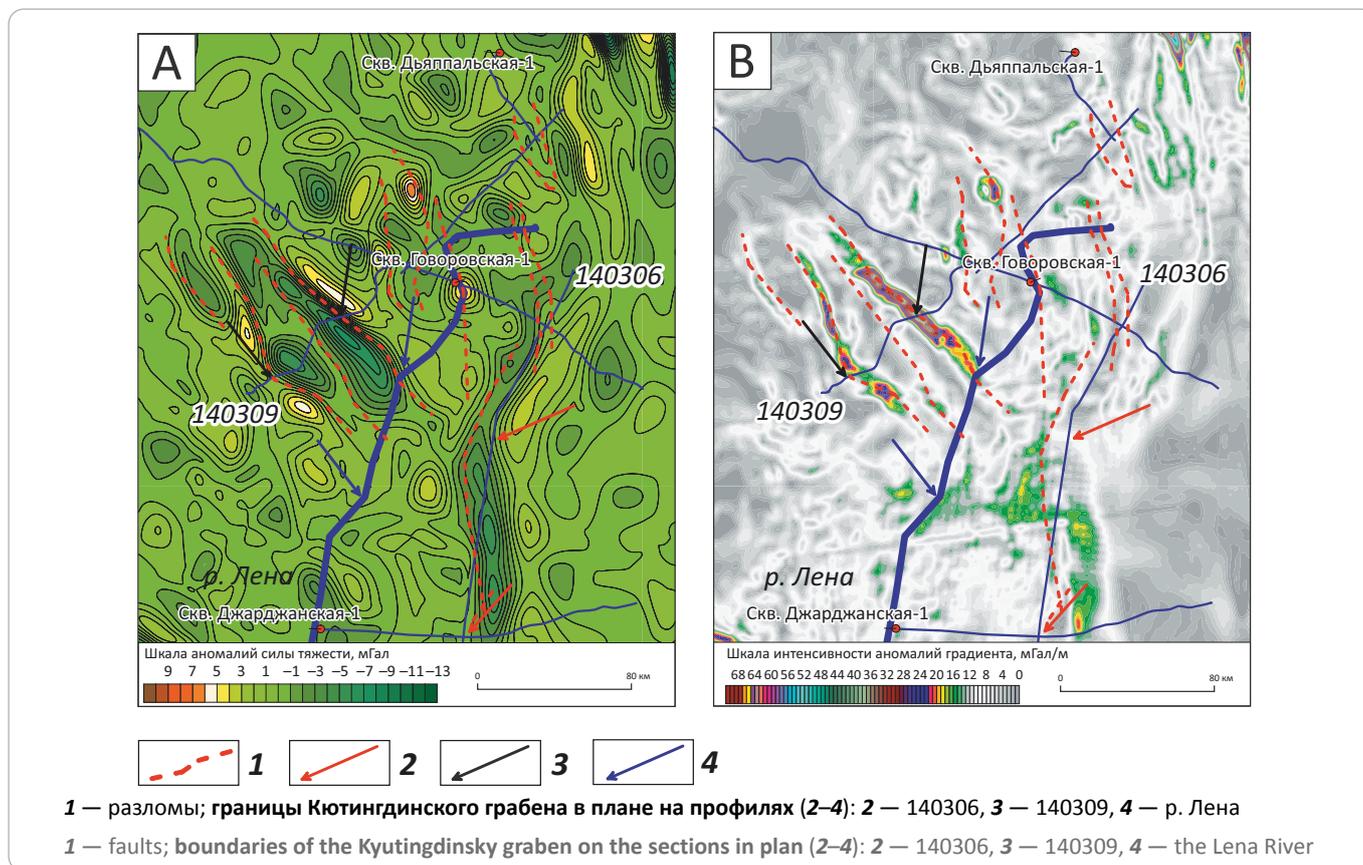
Элиотиийский грабен пересекает свод Оленекского поднятия в субмеридиональном направлении и разделяет Сололийский и Говоровский выступы.



GEOPHYSICAL SURVEYS

Рис. 9. Фрагменты карты среднечастотной составляющей гравитационного поля (А) и карты полного градиента гравитационного поля (В)

Fig. 9. Fragment of the map of gravity field mid-frequency component (А) and map of full gravity field gradient (В)



Элиотийский грабен интерпретируется на сейсмических разрезах по двум профилям. На карте плотности, построенной по результатам преобразований гравитационного поля, грабен также охарактеризован низкоплотностной аномалией (см. рис. 11). В поперечном сечении грабен имеет ширину 20 км, его протяженность по комплексным геолого-геофизическим данным составляет около 80 км, глубина — около 800 м. Грабен выполнен предположительно породами допермского комплекса.

Хастакская впадина, осложняющая Лено-Анабарский прогиб, выделена по результатам работ [15]. Предполагаемая глубина впадины в районе скв. Бурская составляет около 13 км.

Предверхоанский краевой прогиб представляет собой относительно крутое перикратонное опускание Сибирской платформы с запада на восток. Перепад глубин по кровле кристаллического фундамента составляет около 10 км. На востоке отмечается фронт Верхоянского складчато-надвигового пояса субмеридионального простирания.

Строение зоны сочленения Предверхоанского краевого прогиба и Верхоянского складчатого пояса представлено на рис. 12.

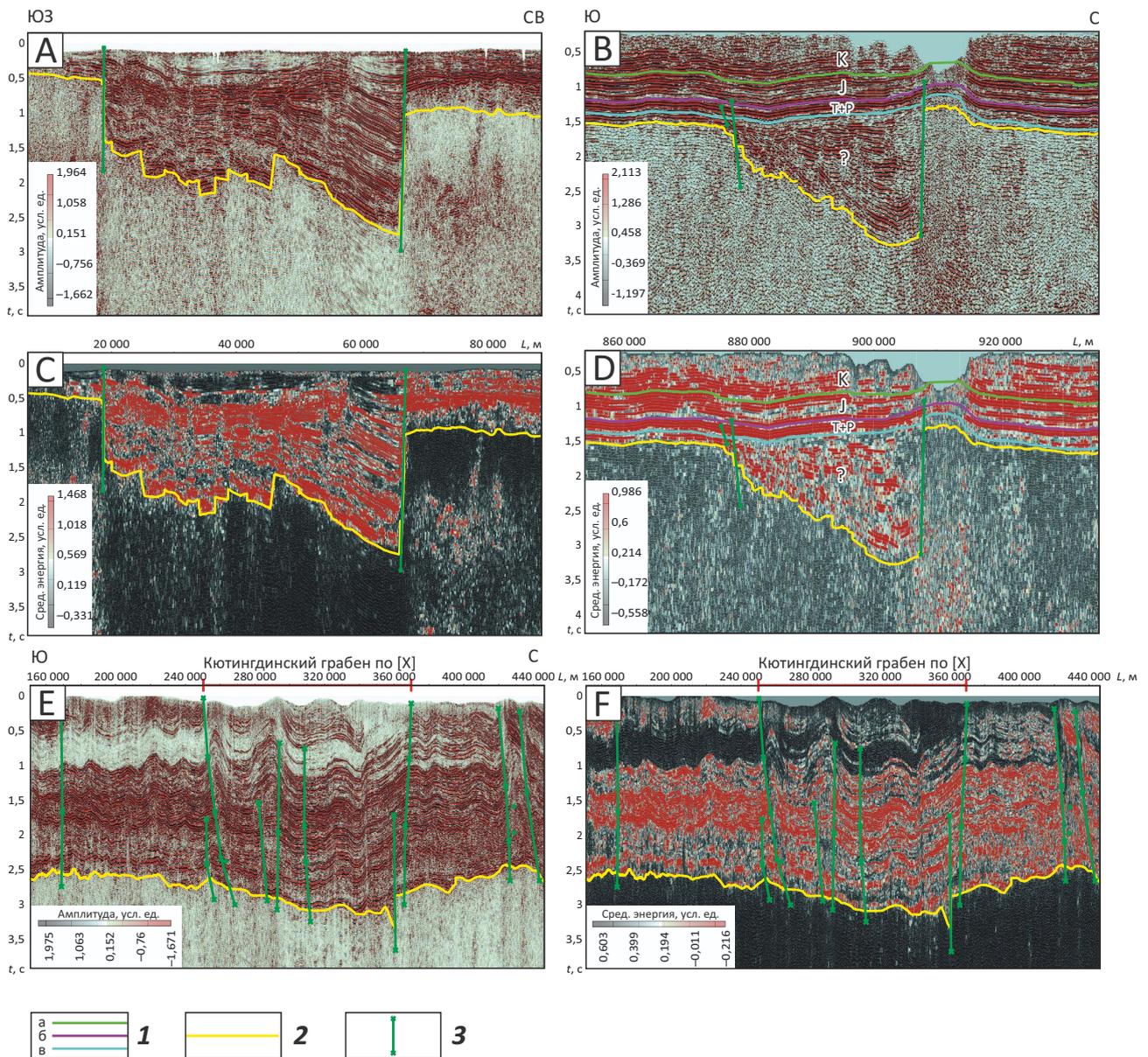
На разрезе по профилю 140303 отчетливо интерпретируются Предверхоанский краевой прогиб и зона распространения Верхоянского складчато-надвигового пояса. Плоскость сместителя основного надвига имеет наклон в реальном масштабе около 35°. Подошвенный срыв на восточном фланге проходит по кровле кристаллического фундамента, образуя обширную зону дезинтеграции. На западном фланге подошвенный срыв ведущего надвига рассекает породы верхнего палеозоя – мезозоя, образующие автохтон. В автохтоне для всего меридионального протяжения Ленской ветви прогиба характерно наличие одной, реже двух, веерных чешуй, висячие борта которых иногда осложнены антиклинальными структурами в толще осадочного чехла. Аллохтон представлен породами Верхоянского складчатого пояса — смятыми в складки породами каменноугольно-пермотриасового возраста, нарушенными многочисленными тыловыми надвигами.

Основные выводы и результаты

В результате исследований авторами статьи было уточнено строение наименее исследованного региона Восточной Сибири. Разработанная оригинальная методика обработки ретроспективных данных гра-

Рис. 10. Детализация строения Кютингдинского грабена на сейсмических разрезах вдоль профилей 140309 (А, С), р. Лена (В, D), 140306 (Е, F)

Fig. 10. Fragment of the map of gravity field mid-frequency component (A) and map of full gravity field gradient (B) 140309 (A, C), the Lena River (B, D), 140306 (E, F)



А, В, Е — разрез амплитуд; С, D, F — разрез средних энергий.

1 — отражающие горизонты (а — кровля отложений юры, б — кровля пермотриасовых отложений, с — кровля отложений кембрия); **2** — кровля кристаллического фундамента; **3** — разломы.

Положение профилей см. на рис. 2, 4

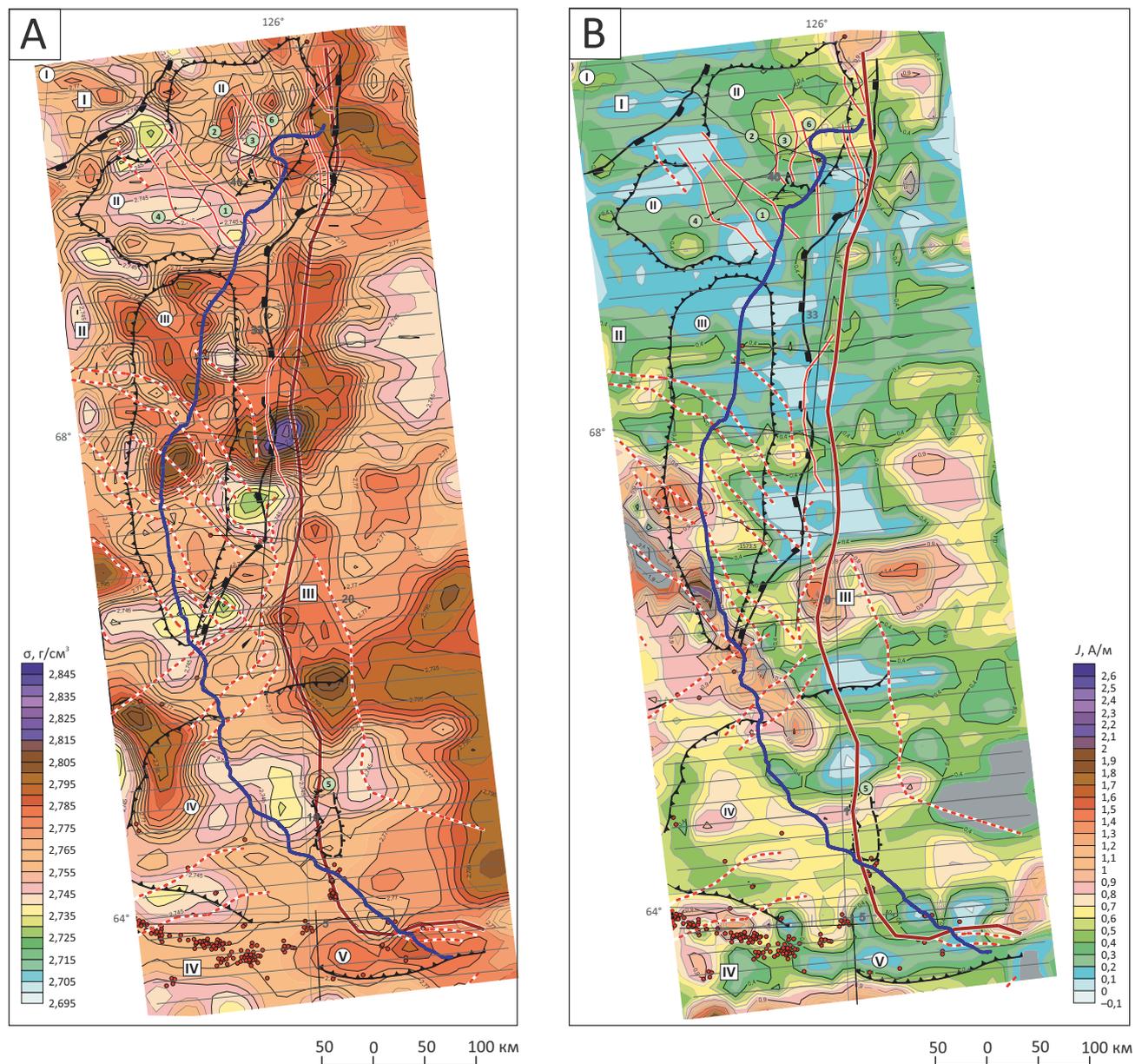
1 — reflection horizons (a — Jurassic Top, b — Permian-Triassic Top, c — Cambrian Top); **2** — crystalline Basement Top; **3** — faults.

For position of seismic lines see Fig. 2, 4



GEOPHYSICAL SURVEYS

Рис. 11. Карты поля плотности по поверхности кристаллического фундамента (А) и намагненности поверхности кристаллического фундамента (В) Ленской ветви Предверхоьянского краевого прогиба, Вилуйской гемисинеклизы и прилегающих территорий
Fig. 11. Map of density field over the crystalline Basement surface (A) and magnetisation of the crystalline Basement surface (B) within the Lena branch of the Predverkhoyansky Foreland Basin, Vilyuisky hemisyncline, and neighbouring areas



1 — изолинии плотности/намагниченности; **2** — расчетные профили.

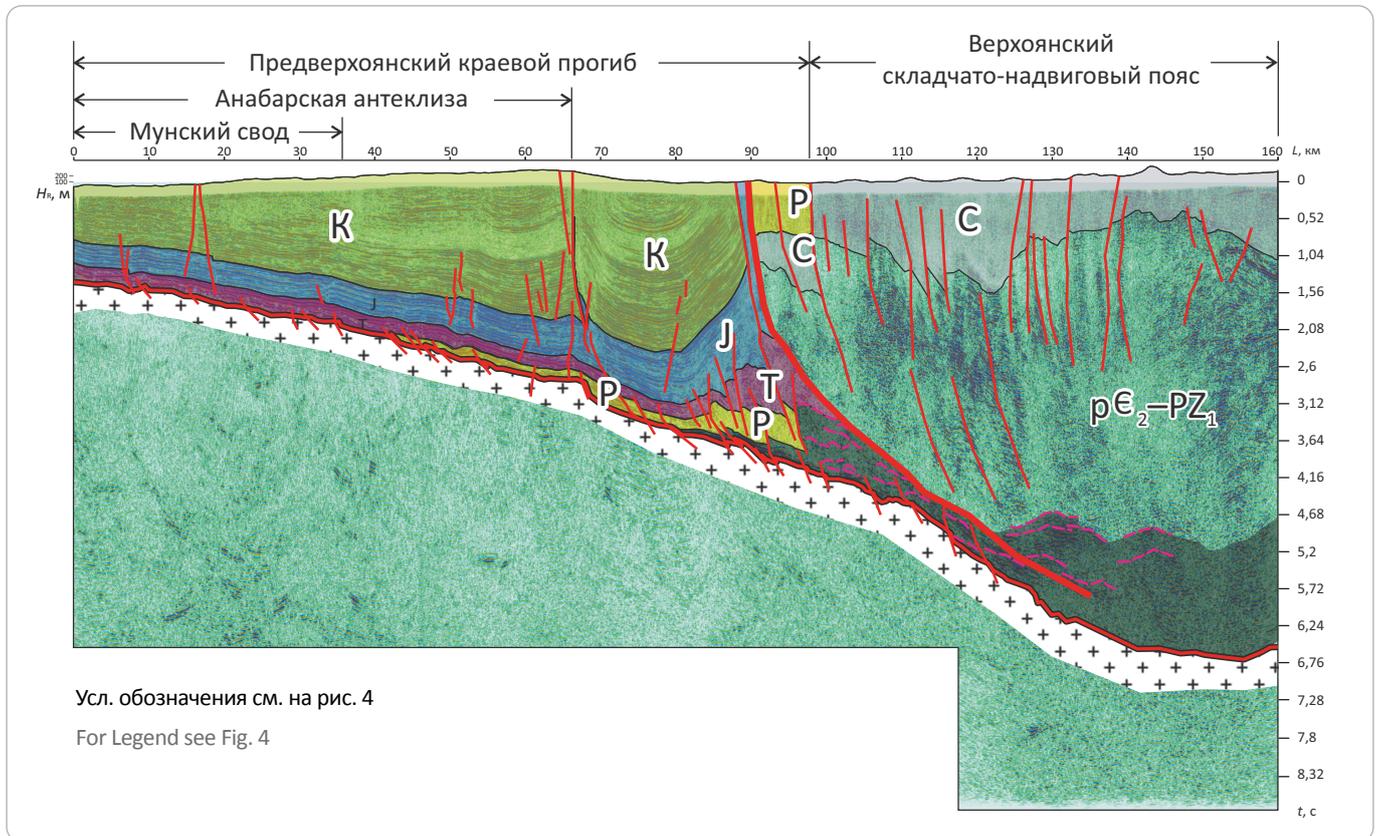
Остальные усл. обозначения см. на рис. 7

1 — density/magnetisation contour lines; **2** — calculation profiles.

For other Legend items see Fig. 7

Рис. 12. Сейсмогеологический разрез, отражающий строение зоны сочленения Предверхоянского краевого прогиба и Верхоянского складчатого пояса на сейсмическом разрезе по профилю 140303

Fig. 12. Geoseismic section showing architecture of the zone of Predverkhoyansky Foreland Basin and Verkhoyansky folded belt joint on the seismic section along 140303 Line



ви- и магниторазведки в комплексе с современной переобработкой данных сейсморазведки и с учетом новейших данных по сейсморазведочному профилю р. Лена позволила построить объемную модель строения земной коры, включающую многочисленные трансформанты гравитационного и магнитного полей, карты полей плотности и намагниченности, а также структурно-тектоническую карту по кровле кристаллического фундамента. Кроме того, была показана предполагавшаяся ранее рифтовая природа

образования Вилюйской гемисинеклизы, уточнено строение Кютингдинского грабена. Вопреки распространенному мнению [16], Кютингдинский грабен менее протяжен, раскрывается на северо-восток и затухает в сторону Верхоянского складчато-надвигового пояса. Уточнение внутреннего строения Кютингдинского грабена возможно только при бурении параметрической скважины. Кроме того, необходимы дополнительные исследования Вилюйской гемисинеклизы и Китчанской антиклинали.

Литература

1. Анциферов А.С., Бакин В.Е., Варламов И.П. и др. Геология нефти и газа Сибирской платформы / Под ред. А.Э. Конторовича, В.С. Суркова, А.А. Трофимюка. – М.: Недра, 1981. – 552 с.
2. Сафронов А.Ф., Горбачев В.Ф. Строение зоны сочленения Предверхоянского прогиба со складчатой областью // Геология нефти и газа. – 1991. – № 6. – С. 7–10.
3. Прокопьев А.В., Козьмин Б.М., Смелов А.П. и др. Тектоника, геодинамика и металлогения территории Республики Саха (Якутия) / Под ред. Л.М. Парфенова, М.И. Кузьмина. – М.: Маик «Наука/Интерпериодика», 2001. – 571 с.
4. Ефимов А.С., Смирнов М.Ю., Ухлова Г.Д., Мосягин Е.В., Келлер Е.Г., Кудрина Т.Р. Новые данные о строении Туруханской зоны дислокаций на основе комплексной интерпретации речных сейсморазведочных работ и геологических маршрутов // Геология и геофизика. – 2017. – Т. 58. – № 3–4. – С. 553–564. DOI: 10.15372/GiG20170318.
5. Смирнов М.Ю., Ухлова Г.Д., Мосягин Е.В. Новый сейсмический речной профиль в системе региональной сети каркасных профилей Восточной Сибири // Природные ресурсы Красноярского края. – 2015. – № 25. – С. 28–30.
6. Завьялов В.А. Об учете неоднородностей верхней части разреза по данным сейсморазведки в Широном Приобье // Геофизика. – 2004. – № 6. – С. 6–11.

7. Шапорина М.Н., Беспечный В.Н., Мосягин Е.В., Садур О.Г. Новые данные о геологическом строении Предверхоанского перикратонного прогиба // Геология и минерально-сырьевые ресурсы северо-востока России: мат-лы IX Всероссийской научно-практической конференции (Якутск, 10–12 апреля 2019 г.). – Якутск : Издательский дом СВФУ; 2019. – Т. 2. – С. 145–149.
8. Никитин А.А., Петров А.В. Теоретические основы обработки геофизической информации. – М. : ООО «Центр информационных технологий в природопользовании», 2008. – 114 с.
9. Морозов А.Ф., Вашурин А.И., Глебовицкий В.А. и др. Основные проблемы изучения и геологического картирования докембрия России // Докембрий Северной Евразии : тез. докл. Междунар. совещ. (Санкт-Петербург, 15–18 апреля 1997 г.) – СПб. : Наука, 1997. – С. 68–70.
10. Киселев А.И., Ярмолюк В.В., Томшин М.Д. Девонские рои долеритовых даек на северо-востоке Сибирского кратона и их связь с Вилуйским плюмом // Доклады Академии наук. – 2010. – Т. 434. – № 4. – С. 502–508.
11. Садур О.Г. Моделирование геологических сред на основе вычисления их плотности и магнитных характеристик в классе сложного распределения масс при решении различных геологических задач // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2012. – Т. 9. – № 1. – С. 96–101.
12. Садур О.Г. Патент 2683817 Российская Федерация, СПК G01V 3/40. Способ определения индуцированной и остаточной намагниченностей горных пород по данным магниторазведки ; заявитель и патентообладатель АО «Сибирский научно-исследовательский институт геологии, геофизики и минерального сырья» ; заявл. 05.04.2018 ; опубл. 02.04.2019; Бюл. № 10.
13. Гришин М.П., Старосельцев В.С., Сурков В.С. и др. Мегакомплексы и глубинная структура земной коры нефтегазоносных провинций Сибирской платформы. – М. : Недра, 1987. – 204 с.
14. Гусев Г.С., Межеловский Н.В., Гуцин А.В. и др. Тектонический кодекс России // Мин-во природных ресурсов и экологии РФ: РОСНЕДРА: Межрегион. центр по геол. картографии (ГЕОКАРТ). – М. : ГЕОКАРТ; ГЕОС, 2016. – 240 с.
15. Котова С.В., Лежнин Д.С., Ухлова Г.Д. Сейсмогеологическая модель строения рифейских отложений на северо-востоке Анабарской антеклизы // Геомодель 2018: мат-лы 20-й науч.-практ. конф. (Геленджик, 10–14 сентября 2018 г.) – Геленджик, 2018. – С. 1–6.
16. Мизурский Ф.А., Якупова Е.М. Новые данные о геологическом строении Кютингинского грабена (северо-восток Сибирской платформы) // Разведка и охрана недр. – 2018. – № 6. – С. 10–17.

References

1. Antsiferov A.S., Bakin V.E., Varlamov I.P. et al. Geologiya nefi i gaza Sibirskei platformy [Oil and gas geology of the Siberian Platform]. In: A.E. Kontorovich, V.S. Surkov, A.A. Trofimuk, eds. Moscow: Nedra; 1981. 552 p. In Russ.
2. Safronov A.F., Gorbachev V.F. Stroenie zony sochleneniya Predverkhoyanskogo progiba so skladchatoi oblast'yu [Structure of the zone of Predverkhoyansky Trough and folded area joint]. *Geologiya nefi i gaza*. 1991;(6):7–10. In Russ.
3. Prokop'ev A.V., Koz'min B.M., Smelov A.P. et al. Tektonika, geodinamika i metallogeniya territorii respubliki Sakha (Yakutiya) [Tectonics, geodynamics and metallogeny of the Republic of Sakha (Yakutia)]. In: L.M. Parfenov, M.I. Kuz'min, eds. Moscow: MAIK «Nauka/Interperiodika», 2001. 571 p. In Russ.
4. Efimov A.S., Smirnov M.Yu., Ukhlova G.D., Mosyagin E.V., Keller E.G., Kudrina T.R. New data on the structure of the Turukhan zone of deformation from the results of seismic survey and geological traverses. *Russian Geology and Geophysics*. 2017;58(3–4):553–564. DOI: 10.15372/gig20170318. In Russ.
5. Smirnov M.Yu., Ukhlova G.D., Mosyagin E.V. Novyi seismicheskii rechnoi profil' v sisteme regional'noi seti karkasnykh profilei Vostochnoi Sibiri [New along-river survey line in the regional network of interconnected cross-sections in Eastern Siberia]. *Prirodnye resursy Krasnoyarskogo kraya*. 2015;(25):28–30. In Russ.
6. Zav'yalov V.A. Ob uchete neodnorodnosti vertikal'noi chasti razreza po dannym seismorazvedki v Shirotnom Priob'e [Accounting for near-surface inhomogeneity using seismic data (Latitudinal Ob region)]. *Geofizika*. 2004;(6):6–11. In Russ.
7. Shaporina M.N., Bespechnyi V.N., Mosyagin E.V., Sadur O.G. Novye dannye o geologicheskom stroenii Predverkhoyanskogo perikratonnogo progiba [New data on geological structure of Predverkhoyansky Foreland Basin]. In: Geologiya i mineral'no-syr'evye resursy Severo-Vostoka Rossii: IX Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii (Yakutsk, 10–12 April 2019). Yakutsk: Izdatel'skii dom SVFU; 2019. V. 2. pp. 145–149. In Russ.
8. Nikitin A.A., Petrov A.V. Teoreticheskie osnovy obrabotki geofizicheskoi informatsii [Basic theory of interpretation of geophysical information]. Moscow: Tsentr informatsionnykh tekhnologii v prirodopol'zovanii; 2008. 114 p. In Russ.
9. Morozov A.F., Vashurin A.I., Glebovitskii V.A. et al. Osnovnye problemy izucheniya i geologicheskogo kartirovaniya dokembriya Rossii [Key problems of studies and geological mapping of Russian Precambrian]. In: Dokembrii Severnoi Evrazii: tez. dokl. Mezhdunar. soveshch. (Saint-Petersburg, 15–18 April 1997). St. Petersburg: Nauka; 1997. pp. 68–70. In Russ.
10. Kiselev A.I., Yarmolyuk V.V., Tomshin M.D. Devonskie roi doleritovykh daek na severo-vostoke Sibirskego kratona i ikh svyaz' s Vilyuiskim plyumom [Devonian dolerite dike swarms in the north-east of the Siberian Croton and their relation to the Vilyuisky Plume]. *Doklady Akademii Nauk*. 2010;434(4):502–508. In Russ.
11. Sadur O.G. Modelling of geological environments based on calculation of their density and magnetization in class of complex mass distribution for various geological problems. *Geologiya i mineral'no-syr'evye resursy sibiri*. 2012;9(1):96–101. In Russ.
12. Sadur O.G. Patent 2683817 Rossiiskaya Federatsiya, SPK G01V 3/40. Spособ opredeleniya indutsirovannoi i ostatochnoi namagnichennosti gornykh porod po dannym magnitorazvedki; zayavitel' i patentoobladatel' AO «Sibirskii nauchno-issledovatel'skii institut geologii, geofiziki i mineral'nogo syr'ya» ; zayavl. 05.04.2018 ; opubl. 02.04.2019; Byul. № 10. In Russ.
13. Grishin M.P., Starosel'tsev V.S., Surkov V.S. et al. Megakompleksy i glubinnaya struktura zemnoi kory neftegazonosnykh provintsii Sibirskoi platformy [Petroleum tectonics of the Siberian Plate: mega-sequences and deep structure of the Earth's crust]. Moscow: Nedra; 1987. 204 p. In Russ.

14. Gusev G.S., Mezhelovskii N.V., Gushchin A.V. et al. Tektonicheskii kodeks Rossii [The Tectonic Code of Russia]. In: Min-vo prirodnykh resursov i ekologii RF: ROSNEDRA: Mezhrefion. tsentr po geol. kartografii (GEOKART); Moscow: GEOKART: GEOS; 2016; 240 p. In Russ.
15. Kotova S.V., Lezhnin D.S., Ukhlova G.D. Seismogeologicheskaya model' stroeniya rifeiskikh otlozhenii na severo-vostoke Anabarskoi anteklizy [Geoseismic model of Riphean despoils structure in the north-east of the Anabarsky Antecline]. In: Geomodel' 2018: materialy 20 nauch.-prakt. konf. (Gelendzhik, 10–14 September 2018). Gelendzhik; 2018. pp. 1–6. In Russ.
16. Migurskiy F.A., Yakupova E.M. New data on geological structure of Cutungdinsky graben (the Siberian platform North-East). *Razvedka i okhrana nedr.* 2018;(6):10–17. In Russ.

Информация об авторах

Шапорина Мария Николаевна

Кандидат геолого-минералогических наук,
ведущий геолог

АО «СНИИГГиМС»,

630091 Новосибирск, Красный пр-т, 67

e-mail: shaporina@sniiggims.ru

ORCID ID: 0000-0002-4457-0027

Мосягин Евгений Вячеславович

Начальник отдела

АО «СНИИГГиМС»,

630091 Новосибирск, Красный пр-т, 67

e-mail: mosyagin@sniiggims.ru

ORCID ID: 0000-0003-1217-5599

Садур Олег Гариевич

Кандидат геолого-минералогических наук,
старший научный сотрудник

АО «СНИИГГиМС»,

630091 Новосибирск, Красный пр-т, 67

e-mail: sadur.oleg@sniiggims.ru

Беспечный Владимир Николаевич

Директор департамента

АО «СНИИГГиМС»,

630091 Новосибирск, Красный пр-т, 67

e-mail: bespechnyy@sniiggims.ru

Information about authors

Mariya N. Shaporina

Candidate of Geological and Mineralogical Sciences,
Leading Geologist

SNIIGGIMS,

67, Krasnyi prospekt, Novosibirsk, 630091, Russia

e-mail: shaporina@sniiggims.ru

ORCID ID: 0000-0002-4457-0027

Evgenii V. Mosyagin

Head of Department

SNIIGGIMS,

67, Krasnyi prospekt, Novosibirsk, 630091, Russia

e-mail: mosyagin@sniiggims.ru

ORCID ID: 0000-0003-1217-5599

Oleg G. Sadur

Candidate of Geological and Mineralogical Sciences,
Senior Researcher

SNIIGGIMS,

67, Krasnyi prospekt, Novosibirsk, 630091, Russia

e-mail: sadur.oleg@sniiggims.ru

Vladimir N. Bespechnyi

Director of Division

SNIIGGIMS,

67, Krasnyi prospekt, Novosibirsk, 630091, Russia

e-mail: bespechnyy@sniiggims.ru