

УДК 550.831

ОБЪЕМНАЯ РЕКОНСТРУКЦИЯ ТЕКТОНИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ЕНИСЕЙ-ХАТАНГСКОЙ РИФТОВОЙ СИСТЕМЫ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ КОМПЛЕКСНОЙ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ

А.П. Афанасенков¹, И.В. Лыгин², А.Н. Обухов¹, Т.Б. Соколова², К.М. Кузнецов²

¹ ФГБУ «ВНИГНИ». 105118, Российская Федерация, Москва, Шоссе Энтузиастов, д. 36;
e-mail: Afanasenkov@vnigni.ru, Obukhov@vnigni.ru

² МГУ имени М.В. Ломоносова. 119991, Российская Федерация, Москва, Ленинские горы, д. 1;
e-mail: lygin@geophys.geol.msu.ru, tb-sokolova@yandex.ru, kirillkuz90@gmail.com

Аннотация. Комплексная интерпретация гравитационного и магнитного полей северного обрамления Сибирской платформы с опорой на новейшие данные позволила создать формализованную объемную реконструкцию Енисей-Хатангской региональной структуры. На базе сейсмического каркаса структуры осадочного чехла, с учетом априорных петрофизических параметров, созданы трехмерные плотностная и магнитная модели Енисей-Хатангского бассейна. Новая геологическая концепция строения фундамента в объемных моделях получила не только свое подтверждение, но и развитие. В рамках этой концепции Енисей-Хатангский бассейн рассматривается, как элемент сложной рифтовой системы, три ветви которой четко картируются локальными аномалиями гравитационного и магнитного полей. Рифтовая модель позволяет по-новому оценить перспективы нефтегазоносности региона.

Ключевые слова. Комплексная геолого-геофизическая интерпретация, гравитационные и магнитные аномалии, геологическая редукция, трехмерное моделирование, осадочный бассейн, рифт.

VOLUMETRIC RECONSTRUCTION OF THE YENISEI-KHATANGA RIFT SYSTEM'S TECTONIC ELEMENTS BY INTEGRATED GEOLOGICAL-GEOPHYSICAL INTERPRETATION

A.P. Afanasenkov¹, I.V. Lygin², A.N. Obukhov¹, T.B. Sokolova², K.M. Kuznetsov²

¹ FSBI «VNIGNI». 36, Shosse Entuziastov, Moscow, 105118, Russian Federation; e-mail: Afanasenkov@vnigni.ru, Obukhov@vnigni.ru

² Lomonosov Moscow State University. Leninskie Gory, Moscow, 119991, Russian Federation;
e-mail: lygin@geophys.geol.msu.ru, tb-sokolova@yandex.ru, kirillkuz90@gmail.com

Abstract. Integrated interpretation of gravity and magnetic anomalies of the Northern margin of the Siberian platform based on the latest data provides the ability to create formalized, three-dimensional reconstruction of the Yenisei-Khatanga regional structure. On the seismic frame of sedimentary cover and a priori petrophysical data, it was created a three-dimensional density and magnetic model of the Yenisei-Khatanga basin. New geological concept of the three-dimensional model basement structure had been confirmed and developed. According to this concept, the Yenisei-Khatanga basin is consider as an element of the complicated rift system, with three branches of which are clearly mapped to the local anomalies of gravity and magnetic fields. The rift hypothesis allows to re-evaluate the petroleum potential of the region.

Key words. Integrated geological and geophysical interpretation, gravity and magnetic anomalies, geological reduction, three-dimensional modeling, sedimentary basin, rift system.

ВВЕДЕНИЕ. Ключевым объектом структур северного обрамления Сибирской платформы, во многом определяющим представления о геологическом строении, истории развития и, как следствие, поисковых перспективах региона, является Енисей-Хатангский региональный прогиб (ЕХРП). Весь регион в целом и ЕХРП, в частности, имеет весьма сложное геологическое строение, и, несмотря на достаточно длительную историю геолого-поисковых работ, эффективный анализ тектоники, истории развития и нефтегазоносности возможен только при комплексировании всех методов геологического изучения.

Основы современного представления о строении северных районов Западной и Центральной Сибири заложены работами Ю.Е. Погребицкого (1971), Д.Б. Тальвирского (1976), а также Н.Е. Котт, Д.А. Вольнова и многих других. Геолого-поисковые результаты их работ суммированы в Тектонической карте нефтегазоносных провинций (ред. В.С. Старосель-

цев, 2005 г.) и в карте нефтегеологического районирования ВНИГНИ 2009 года.

Крупный вклад в исследования региона за последние 20 лет был внесен работами научных коллективов Таймырнефтегеофизика (В.А. Казаис, Д.Г. Кушнир), ООО «НПЦ Геостра» (В.А. Балдин), «ИНГГ СО РАН» (А.Э. Конторович, В.А. Конторович), «Сибнефтегеофизика» (С.Н. Варламов), АО «Южморгеология» (В.И. Савченко), МГУ (А.М. Никишин, А.В. Ступакова) и др. Основную и важнейшую информацию представили новые сейсмические работы МОВ ОГТ в объеме более 30 тыс. пог.км, которые существенно дополнили, а в некоторых зонах и изменили представления о регионе. В 2011–2015 г.г. исследования территории на современном научно-производственном уровне продолжены в рамках государственного проекта по оценке ресурсного потенциала слабоизученных территорий северного обрамления Сибирской платформы ВНИГИ (отв. исп. А.П. Афанасенков). Участие в работах

коллективов разноплановых геологических организаций (ФГУНПП «Росгеолфонд», ФГУП «Геологоразведка», ФГУП «СНИИГГиМС», ФГУП «ВНИГРИ», ООО «НПЦГеостра», ООО «Северо-Запад», ГПКК «КНИИГиМС», ФГУП ГНЦ РФ «ВНИИгеосистем», ФГУП «ВСЕГЕИ», ИНГТ СО РАН, МГУ имени М.В. Ломоносова) обеспечило реализацию в проекте практически полного спектра геологического анализа, от стратиграфии и тектоники, до современной интерпретации сейсмических данных, сиквенс-стратиграфии, бассейнового моделирования и комплексного анализа электроразведочных и гравимагнитных данных.

В отношении возможностей интерпретации потенциальных полей, следует дополнительно отметить важность создания ФГУП «Геологоразведка» и «ВСЕГЕИ» актуализированных сводных цифровых моделей гравитационного и магнитного полей (Нарский Н.В.).

Современный этап геолого-геофизических исследований опирается на результаты сейсмических работ МОВ ОГТ, обеспеченных новейшими методиками обработки. Обобщение результатов исследований с учетом новой интерпретации сейсмических профилей на территории Таймырского орогена и Енисей-Хатангского бассейна проведено коллективом ученых ВНИГНИ и МГУ имени М.В. Ломоносова (Афанасенков и др. 2016).

Северная окраина Сибирского континента (территория будущего прогиба) в течение своей раннепалеозойской истории являлась пассивной окраиной с типичным площадным карбонатно-терригенным осадконакоплением. Со среднего карбона началась эпоха угленосных паралических бассейнов (тунгусская серия). В конце пермского – начале триасового периодов территория подверглась рифтингу, в результате которого её обширный фрагмент (Таймыр) был отчленен и отодвинут на север. Конец рифтинга ознаменовался катастрофическим вулканизмом, создавшим трапповое плато площадью более 2 млн. кв. км. И только со среднего триаса, началось образование современной субширотной вытянутой структуры ЕХРП. Весь юрско-меловой этап продолжалось устойчивое погружение Енисей-Хатангского бассейна с медленным инверсионным поднятием Рассохинского и Балахнинского центральных валов, которое усилилось в кайнозое.

Таким образом, структура ЕХРП составлена двумя главными комплексами: пассивно-окраинным палеозойским и платформенным (плитным, пострифтовым) среднетриас-юрско-меловым, разделенными локальным пермо-триасовым рифтовым комплексом.

С точки зрения гравиразведки, физико-геологическую модель такой структуры можно представить в виде прогиба, заполненного мощной осадочной толщей. Причем верхняя часть осадочного комплекса субгоризонтально-слоистая, слабо дифференцированная в плотностном отношении по латерали (пассивно-окраинный комплекс). Известно, что в общем случае, рассчитывать на высокую эффективность и информативность применения гравиразведки на таких структурах не приходится – слишком велика неоднозначность интерпретации.

С точки зрения магниторазведки, осадочная толща, представленная преимущественно осадочными немагнитными образованиями тоже не может рассматриваться, как оптимальный объект исследования. Структура магнитного поля территории, в первую очередь, обусловлена рифтовыми пермскими и нижнетриасовыми интрузивными телами, дайками, тектоническими нарушениями, по которым происходили внедрения магнитных пород и потоками основного и ультраосновного состава. В такой физико-геологической ситуации основной задачей метода становится изучение структурно-тектонических особенностей строения территории и магматизма, в первую очередь, составление схемы разрывных нарушений и определение их иерархии, оконтуривание интрузивных массивов, прослеживание даек.

Особенности современной базы геолого-геофизической информации

Дополненная новыми геолого-геофизическими материалами база априорных данных стала основой для проведения структурно-тектонической интерпретации и трехмерного моделирования источников гравитационного и магнитного полей. Наиболее важными элементами с этой точки зрения являются:

- результаты ретроспективного обобщения и геологического доизучения территории [Афанасенков и др. 2016 а, б; 2017; Лыгин и др. 2017];

- схема геолого-структурного районирования земной коры северного обрамления Сибирской платформы и Карского сегмента полярных морей по результатам интерпретации региональных потенциальных полей и региональных профилей ГСЗ, отработанных по проекту мирных ядерных взрывов [Атлас..., 2013; Lygin et al., 2016];

- результаты интерпретации сейсмических зондирований (ГСЗ и МОВЗ) по опорным геолого-геофизическим профилям [Атлас..., 2013] и данные о глубине границы Мохоровичича [Сурков и др., 2007, Милановский и др., 2007];

- структурный каркас мезозой-кайнозойских отложений ЕХРП по результатам сейсморазведочных работ по регулярной сети профилей [Афанасенков и др., 2016а];

- актуализированные карты гравитационного и магнитного полей (Н.В. Нарский);

- данные о плотности осадочных отложений по данным бурения и каротажа;

- обобщенные данные о магнитных свойствах пород (в основном по литературным данным) [Мелихов и др., 2011].

Ключевые элементы новой информационной базы данных, определяющие возможности комплексной геолого-геофизической интерпретации приведены на рис. 1. Региональное положение Енисей-Хатангского прогиба среди крупных тектонических блоков согласно геолого-структурному районированию предыдущих исследователей показано на рис. 1А (Стрельников С.И.). Здесь же нанесены линии опорных геолого-геофизических профилей, по которым выполнены, в частности, глубинные сейсмические исследования методом ГСЗ [Атлас..., 2013]. Отчасти благодаря этим работам уточнена глубина залегания подошвы земной коры.

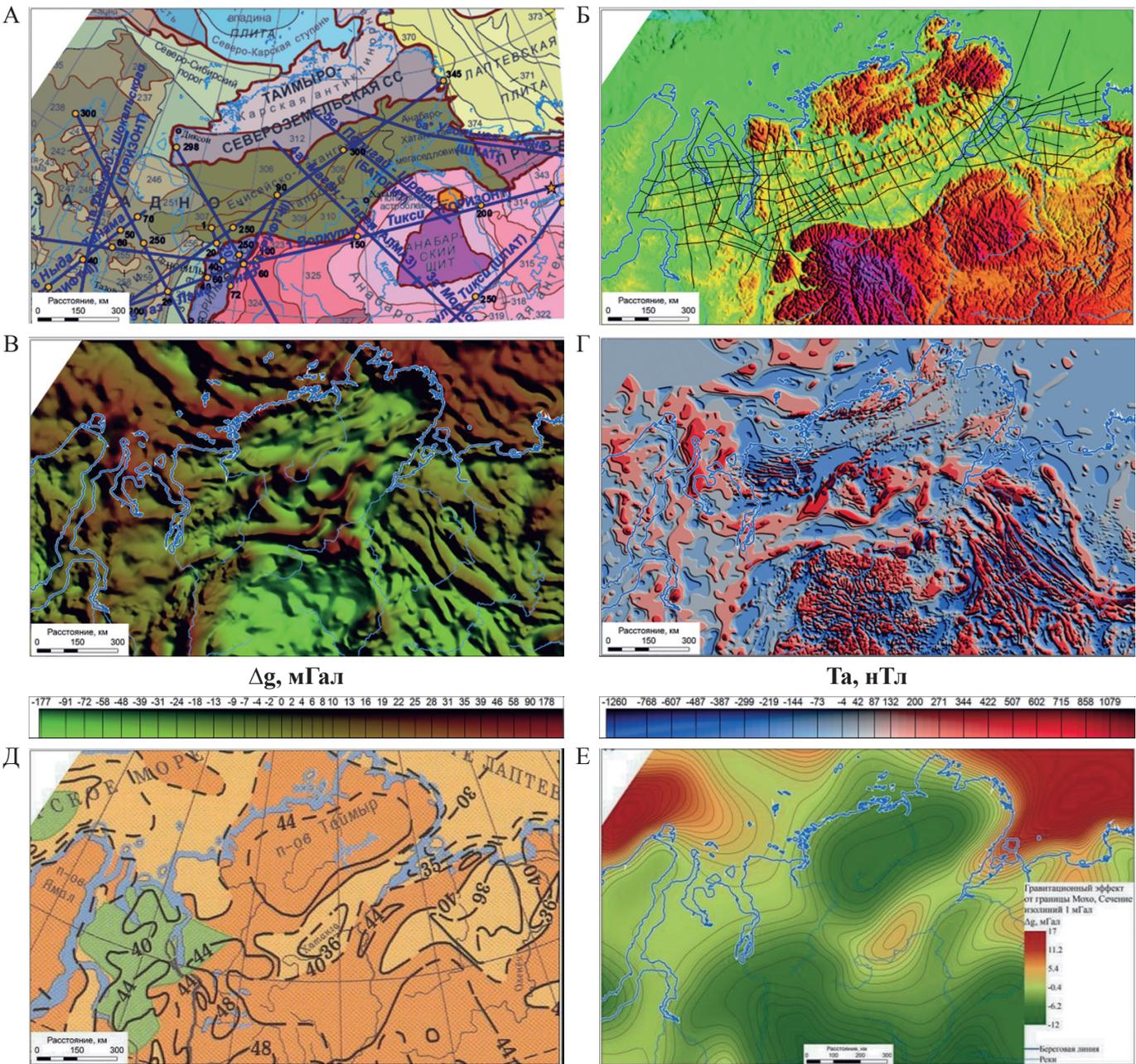


Рис. 1.

Ключевые элементы новой информационной базы данных.

- А. Профили ГСЗ на схеме геолого-структурного районирования [Атлас..., 2013].
- Б. Сейсмическая изученность МОБ-ОИГ. В. Аномалии поля силы тяжести в редукции Буге ($\sigma = 2,67 \text{ г/см}^3$).
- Г. Аномальное магнитное поле.
- Д. Схема рельефа поверхности Мохоровичича, автор С.Л. Костюченко (2007) [Милановский и др., 2007]. Зеленым цветом обозначены районы отсутствия или значительной редуцированности гранито-метаморфического слоя. Изогипсы кровли мантии в километрах проведены с переменным интервалом. Е. Гравитационный эффект поверхности Мохоровичича (при эффективной плотности на границе $0,04 \text{ г/см}^3$).

На рисунке 1Б на топографической основе показана сеть профилей МОБ-ОИГ, достаточно плотная в пределах западной части Енисей-Хатангского прогиба и на востоке (Анабаро-Хатангской седловине), и существенно разреженная в центральной части, где среднее расстояние между профилями меняется от 25–30 км до 80 км.

Гораздо более полной (и более изотропной), является информация, представляющая цифровые модели потенциальных полей. Региональные особен-

ности гравитационного и магнитного полей представлены на рисунках 1В и 1Г соответственно.

На основе описанной выше физико-геологической ситуации осадочного бассейна ЕХРП может быть составлена композиционная априорная трехмерная плотностная модель, включающая данные о глубине залегания поверхности Мохоровичича, сундуляциями которой связана региональная компонента поля силы тяжести, и структурный каркас мезозой-кайнозойских отложений, насыщенный данными о плотностях.

С позиции основной задачи исследования – изучения внутреннего строения земной коры, гравитационный эффект от границы Мохо и сейсмического каркаса учитывается геологическим редуцированием, позволяя локализовать остаточные аномалии поля силы тяжести, обусловленные плотностными неоднородностями (геологическими объектами) не учтенными априорной моделью.

На рисунках 1Д и 1Е приведены поверхность Мохоровичича и её гравитационный эффект, рассчитанный при эффективной плотности $0,04 \text{ г/см}^3$. В Енисей-Хатангском прогибе поверхность Мохоровичича в среднем располагается на отметках $40 \pm 5 \text{ км}$, воздымаясь с запада на восток. В западной части (Пур-Гыданский участок Западно-Сибирской плиты) мощность земной коры увеличивается (до 45 км), но при этом, отмечается отсутствие гранитно-метаморфического слоя в области развития Колтогор-Уренгойского рифта с существенно базифицированной корой (на рис. 1 эта область отмечена зеленым фоном). На восток, в сторону Хатангского залива граница Мохо воздымается и в море Лаптевых достигает 30 км. Не исключено, что и здесь земная кора редуцирована, но авторам тектонической карты в 2007 году [Милановский и др. 2007] недостаток данных ГСЗ не позволил выделить эту, относительно узкую зону. На акваториях Карского моря и моря Лаптевых поведение изогипс границы Мохо предположительно, но в целом отвечает постепенному сокращению мощности земной коры от континента. Наиболее интенсивные положительные гравитационные эффекты (15–18 мГал) вызывают воздымания поверхности Мохоровичича на западе (восточное побережье Гыданского полуострова) и на северо-востоке (прибрежная часть моря Лаптевых).

Трехмерное моделирование источников потенциальных полей

Центральный элемент района исследования – Енисей-Хатангский региональный прогиб, строение верхней части которого известно по данным сейсморазведки, представляет собой крупный осадочный бассейн с мощным осадочным чехлом, достигающим на западе 10–15 км [Хаин и др., 1984]. В региональной структуре потенциальных полей он четко выделяется, как единый структурно-тектонический блок [Lygin et al., 2016; Мелихов и др., 2011].

Источники аномалий поля силы тяжести

Гравитационное поле структуры слегка повышенное. Наиболее яркой его особенностью является серия сближенных линейных максимумов и минимумов, причудливо изгибающихся и меняющих свое простираение с северо-западного на субширотное, а затем на север-северо-западное, параллельное фрагменту долины в нижнем течении р. Хатанга и Хатангскому заливу (рис. 2, А). Природа этих линейных максимумов поля традиционно связывается с приподнятыми структурами фундамента, частично изученными и описанными ранее (валы Рассохинский, Балахнинский, Кирыяко-Тасский и пр.).

Строение осадочных толщ ЕХРП, как уже упоминалось выше, в настоящее время достаточно хорошо изучено сейсморазведочными работами по серии

детальных профилей в комплексе с данными бурения структурно-поисковых и поисково-разведочных скважин. Сведения о физических свойствах горных пород обобщены согласно данным геологических отчетов В.И. Казаиса (2003 г.), Ф.Д. Лазарева (2000 г.), А.П. Четвергова (1998 г.), Гольтбурга (1967 г.), Н.М. Ивановой (2012 г.), В.А. Куликова (2006 г.). В сводной плотностной характеристике толщ, использованной при моделировании, учтены результаты статистической обработки данных каротажа и результатов измерений плотности по керну.

Сейсмо-стратиграфические поверхности, одна из которых (М – кровля нижнемеловых отложений) приведена на рис. 2, Б, и их плотностные характеристики использованы при трехмерном моделировании.

В ходе моделирования источников гравитационного поля центральной части изучаемой территории последовательно решались следующие задачи:

- с учетом того, что сейсмические горизонты построены по редкой сети профилей, а гравитационное поле задано цифровой моделью по более детальной, регулярной сети, в межпрофильном пространстве по аномальному гравитационному полю выполнена корректировка формы горизонтов, обладающих значительной эффективной плотностью;

- рассчитан суммарный гравитационный эффект осадочной толщи;

- рассчитан гравитационный эффект поверхности Мохоровичича;

- рассчитаны остаточные аномалии поля силы тяжести, полученные в результате редукиции гравитационных влияний поверхности Мохоровичича и известных структур осадочного чехла.

Структуру остаточного поля силы тяжести (рис. 2, Г), согласно принятой последовательности редуцирования, в явном виде определяют объекты, не учтенные плотностной моделью сеймо-стратифицированной толщи, и не связанные с плотностными аномалиями на границе кора-мантия. То есть объекты, отражающие плотностную неоднородность фундамента. В частности, положительные аномалии, расположенные в центральной части Енисей-Хатангского прогиба, свидетельствуют о существенно повышенных плотностях основания зоны по отношению к периферийным областям, что дает основания отнести к существенно базифицированной коре типичной для рифтовых структур. Резкими градиентами аномалий определяются форма, размеры тектонической структуры.

Важно, что Рассохинский, Балахнинский и другие валы, фиксирующиеся четкими локальными линейными аномалиями поля силы тяжести в редукиции Буге, в остаточных аномалиях не проявлены. То есть, они не являются унаследованными структурами фундамента – обусловлены плотностными неоднородностями осадочного чехла.

Интересно подчеркнуть, что в ходе анализа структуры поля силы тяжести на региональном этапе (по исходному гравитационному полю, до исключения эффекта известных геологических структур), положение западной границы ЕХРП однозначно установить не удавалось. Итоги геологического редуцирования наглядно доказали отсутствие этой границы и

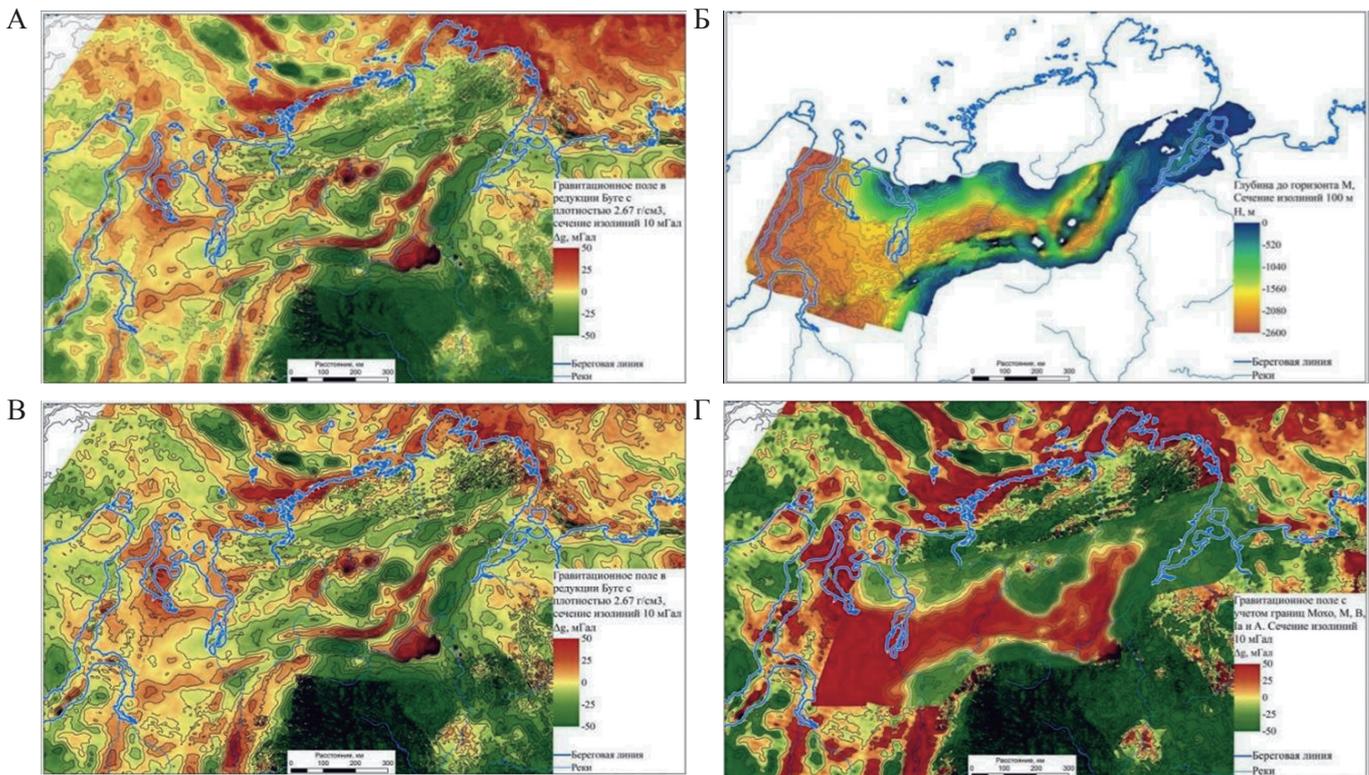


Рис. 2.

Изменение представлений о плотностных неоднородностях литосферы в результате геологической редукции аномального гравитационного поля.

А – Аномалии поля силы тяжести в редукции Буге (2,67 г/см³).

Б – Поверхность горизонта М в мезозойском комплексе по сейсмическим данным [Афанасенков А.П. и др., 2016а].

В – Аномалии поля силы тяжести за вычетом гравитационного эффекта границы Мохоровичича.

Г – Аномалии поля силы тяжести за вычетом гравитационных эффектов границы Мохоровичича и горизонтов осадочного чехла на центральную область.

единство структур Колтогор-Уренгойской и Енисей-Хатангской рифтовых систем.

Источники аномалий магнитного поля

Структуру магнитного поля Восточной Сибири и прилегающих территорий, в первую очередь, определяют пермо-триасовые магматические образования (табл. 2). Намагниченность комплексов базальтов и трахибазальтов пермского возраста относительно невысокая, причем индуктивная компонента ниже остаточной, которая в среднем составляет 1 А/м. Значительно более магнитны отложения нижнего триаса, остаточная намагниченность базальтов здесь может достигать 4 А/м и более. В частности, намагниченность ультраосновных пород интрузивных массивов Маймеча-Котуйской провинции достигает 8–10 А/м. Трехмерное моделирование магнитных источников с опорой на результаты сейсморазведки и полученную объемную плотностную модель позволило классифицировать источники магнитного поля по трем уровням (рис. 3):

- магнитоактивные блоки фундамента;
- интрузивные и эффузивные объекты в толще осадочного чехла;
- приповерхностные источники.

В рамках принятой модели наиболее интенсивные источники магнитного поля расположены в нижнем слое. Территориально контуры источников совпадают с наиболее интенсивными магнитными аномалиями. На востоке исследуемой площади в непосред-

ственной близости к оси Колтогор-Уренгойского рифта это достаточно широкая, до 120–150 км полоса высокомагнитных пород с магнитной восприимчивостью более $6000 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ. К западу от реки Пясины полоса разделяется на два объекта, вытянутых в северо-восточном направлении. Области сильномагнитных пород устойчиво тяготеют к прибортовым частям Енисей-Хатангского прогиба, их магнитная восприимчивость может превышать $10\ 000 \pm 11\ 000 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ. Меняется горизонтальная мощность зон развития сильномагнитных пород, меняются простирания осей и конфигурация локальных составляющих, однако практически на всем протяжении ЕХРП бортовые части прогиба остаются сильномагнитными.

Вблизи Янгодо-Горбинского выступа северная ветвь ещё раз разветвляется и огибает его, в итоге образуя псевдокольцевую структуру.

Комплексы, характеризующиеся значениями магнитной восприимчивости, превышающими $12000 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ по результатам моделирования выделены вдоль южного борта прогиба, в районе Меча-Котуйской интрузивной провинции в зоне круто разворачивающейся на север-северо-восток.

Источники магнитных аномалий в среднем слое распределены в основном в тех же зонах, что и описанные выше. Однако, здесь уже нет массивных, значительных по размерам объектов, источники локальные, часто изометричные, небольшие по амплитудам.

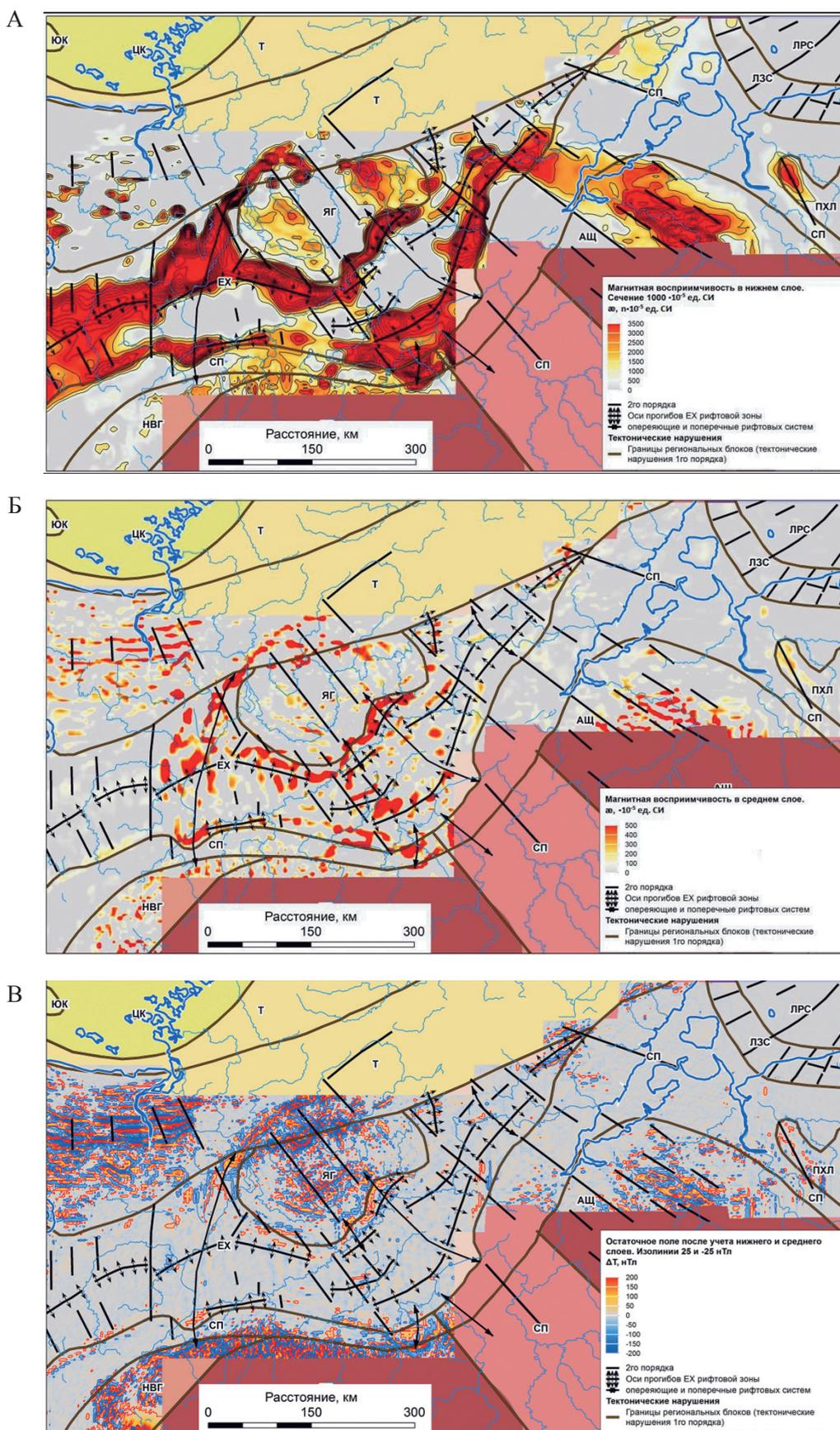


Рис. 3.

Результаты трехмерного моделирования источников магнитных аномалий.

А – Магнитная восприимчивость в нижнем слое.

Б – Магнитная восприимчивость в среднем слое .

В – Остаточное магнитное поле, обусловленное источниками приповерхностного слоя.

(Названия блоков и буквенные обозначения блоков приведены на рис. 4)

В остаточном магнитном поле чередованием высокочастотных аномалий локализованы трапповые формации Тунгусской синеклизы, на Таймыре, Янгодо-Горбитском выступе, Анабарском щите и др.

Геологическая интерпретация результатов моделирования источников потенциальных полей

Результаты трехмерного моделирования источников гравитационного и магнитного полей послужили подтверждением современных представлений о строении территории, позволили уточнить и развить интегральную геологическую концепцию развития и становления Енисей-Хатангского регионального прогиба, как рифтовой структуры, являющейся широкой ветвью Колтогор-Уренгойского рифта [Афанасенков, 2016а, Афанасенков и др., 2017].

Исходное поле силы тяжести в редукции Буге ($\sigma = 2,67 \text{ г/см}^3$) отличается от окружающих территорий слегка пониженным средним уровнем с господством знакопеременных линейных аномалий, простирающиеся которых флексуобразно меняется от субширотного в западной приенисейской части до север-северовосточного в восточной, на границе с Хатанго-Ленским бассейном. Амплитуды сигмоидальных максимумов, источники которых традиционно связываются с поднятиями, характерными примерами которых являются Балахнинский, Мессояхинский, Рассохинский валы, достигают 40–50 мГал. Природа разделяющих их минимумов – резкое увеличение мощности осадочных комплексов в прогибах – депоцентрах. Приблизительно на долготе долины Енисея по описанной ранее нами региональной гравитационной ступени (зоне регионального корового линеамента), средний уровень поля силы тяжести возрастает до уровня, характерного для Гыданского полуострова.

Ключевым этапом интерпретации гравитационного поля стало геологическое редуцирование. Оно позволило в явном виде локализовать аномалии поля силы тяжести, обусловленные плотностными неоднородностями основания ЕХРП.

Остаточное поле силы тяжести, полученное в результате геологического редуцирования, имеет совершенно иную структуру. Центральное место занимает обширный максимум, амплитуда которого в осевых частях достигает 60–70 мГал, ширина в восточной части до 180–200 км. Максимум ограничен четкими узкими субширотными зонами градиентов.

Принципиально важным является то, что в районе Гыданского полуострова максимум остаточного поля един – границы между структурами Колтогор-Уренгойской системы и Енисей-Хатангской нет. В районе Янгодо-Горбитского выступа, фиксирующегося локальным изометричным минимумом остаточного поля, максимум, смещаясь огибает его, ось его разворачивается, становится субмеридиональной. Максимум становится значительно уже. В этой, субмеридиональной, части ЕХРП, можно проследить несколько локальных линейных максимумов, а в области северо-восточного замыкания прогиба серия линейных гравитационных максимумов более высокого порядка (ещё более узких

и малоамплитудных) веерообразно раскрывается в сторону Хатангского залива.

Иными словами, если исходное поле силы тяжести за счет наложенного влияния плотностных неоднородностей осадочного чехла (валов и депрессионных впадин) рассыпается на серию линейных максимумов и минимумов (рис. 2, А), то в структуре остаточных аномалий поля силы тяжести (рис. 2, Г) центральное место занимает обширный гравитационный максимум. Этот центральный гравитационный максимум, протягивающийся через центральную, осевую часть прогиба, по аналогии с Колтогор-Уренгойским, интерпретируется нами, как ось еще одной рифтовой системы (ЕХ) с тройным сочленением в районе Обско-Тазовской губы.

Южная граница ЕХ блока фиксируется цепочкой интенсивных линейных минимумов силы тяжести, протягивающихся по периферийной, погруженной части края Сибирской платформы.

Магнитное поле ЕХРП достаточно дифференцированное. Бортам ЕХ прогиба в западной его части соответствуют оси положительных магнитных аномалий. В обрамлении Янгодо-Горбитского выступа, локальные, изометричные или слабо-вытянутые максимумы, амплитудой до 5 000 нТл, образуют псевдо-кольцевую структуру (рис. 1, Г). Внутренняя часть «кольца» характеризуется безаномальным полем, со средним уровнем в северо-восточном сегменте близким к нулю, а в северо-западном слегка повышенным. Сложно построенные зоны интенсивных максимумов протягиваются вдоль северной оконечности Сибирской платформы, представленной здесь трапповыми толщами плато Путوران и Анабарским щитом. Наиболее интенсивные магнитные аномалии соответствуют локальным интрузивным массивам, среди которых и крупный Гулинский массив, расположенный в бассейне рек Хета, Котуй, Мечма.

На северо-востоке ЕХРП упирается в Лаптево-морскую структурную область, в пределах которой структура потенциальных полей существенно отличается и амплитудами и простираением аномалий. Резкая смена типов полей четко фиксирует границу Сибирской платформы и Лаптево-морской плиты. Господствующие на плите небольшие по амплитуде линейные аномалии, простираются вдоль границы и отражают область её фронтальной деформации с образованием сегментированных линейных складок. При благоприятных условиях (наличии непроницаемых покрышек) данные складки могут рассматриваться, как объекты потенциально перспективные на УВ.

На базе детального анализа структуры потенциальных полей определено положение разломов и тектонических зон, использованное при проведении реконструкций и построении схемы строения Енисей-Хатангского региона (рис. 4).

Согласно интегральной интерпретации комплексных геолого-геофизических данных, ЕХ рифт протягивается по оси одноименного прогиба единой системой до долготы Янгодо-Горбитского выступа. Далее на восток рифт распадается на три ветви, разделенные выступами фундамента:

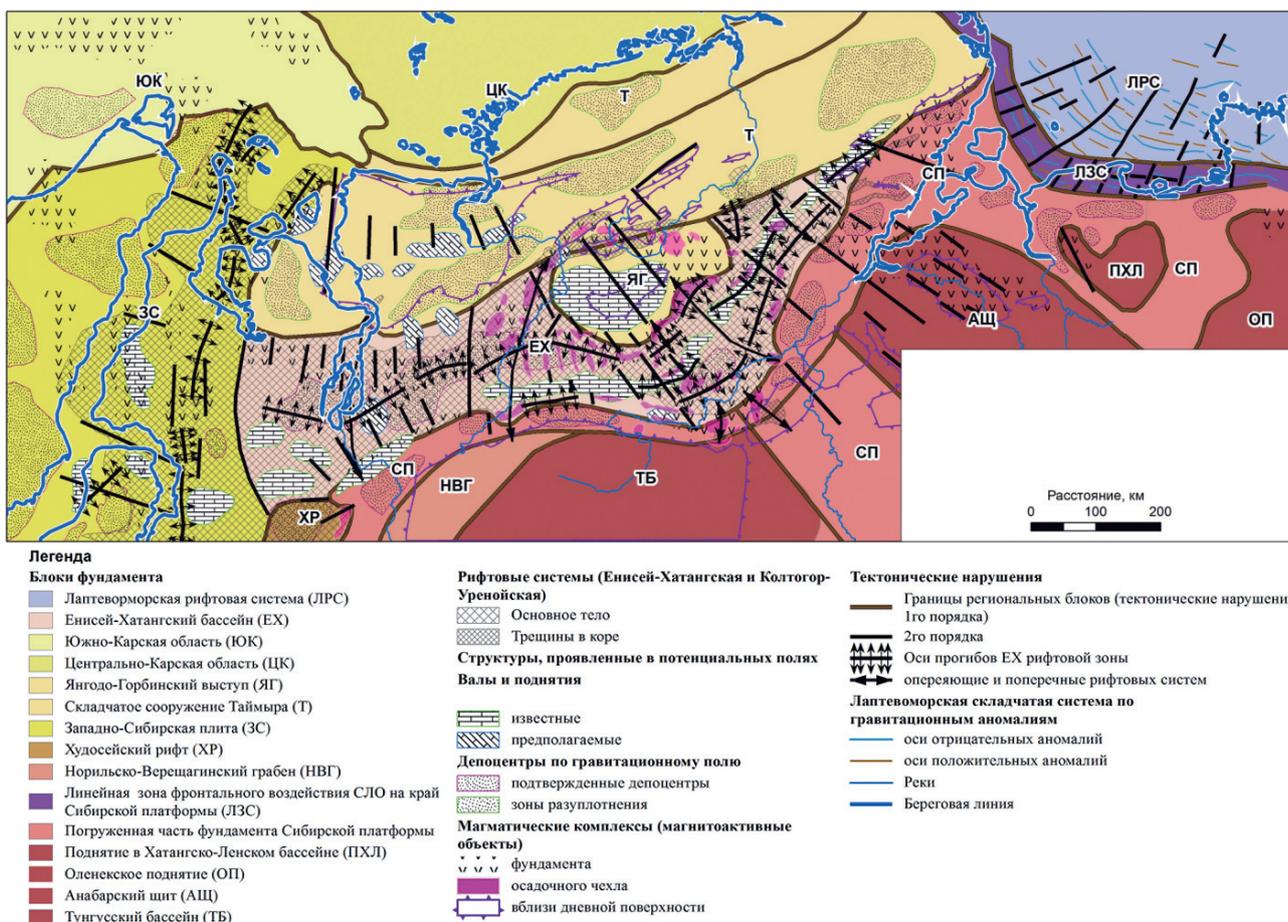


Рис.4.

Схема строения Енисей-Хатангского региона по результатам комплексной интерпретации

– основная, центральная ветвь огибает с юга Янгодо-Горбитский выступ и, разворачиваясь на север, утыкается в Таймырский блок;

– дополнительная северная ветвь, «пытается разомкнуть» Таймырский блок, отделяя Янгодо-Горбитский выступ. Итогом её тектонического воздействия является образование в коре Южно-Таймырского блока трещин восток-северо-восточного направления, проявленных линейными узкими, но высокоамплитудными аномалиями гравитационного и магнитного полей;

– южная ветвь, наиболее ярко выраженная в потенциальных полях и «наиболее агрессивная», идет вдоль северной границы Сибирской платформы. Она протягивается до широты острова Большой Бегичев и скользит вдоль края Таймырского орогена, прослеживаясь в коре далее серией трещин восточного простирания (зафиксированы узкими линейными аномалиями). Можно предположить их связь с опережающей системой тектонических зон хребта Гаккеля. Важно, что по данным бурения Анабара-Хатангских скважин 1 и 2 пермский комплекс интродуцирован нижнетриасовыми долеритами, вскрытая мощность отдельных тел достигает 50–100 м. Магматические тела зафиксированы от глубин с 200–300 м от поверхности и встречаются во всем разрезе скважин до глубины 2 км.

Ширина и простирание осей рифтовой системы меняются, что может свидетельствовать о неоднократных попытках поперечных тектонических рас-

колов в процессе рифтообразования. На схеме такие области отмечены стрелками.

Вдоль северного склона Сибирской платформы на схеме выделена зона опущенных блоков, картируемых сложно построенной ступенчатобразной гравитационной ступенью. В пределах нее выделена цепочка локальных минимумов, показанных на резульативной схем, как депозиты. Один их таких депозитов зафиксирован сейсмическими профилями Южморгеологии и описан как Прианабарский рифейский погребенный прогиб.

Особое место занимает Гулинский интрузивный массив, происхождение которого является предметом многолетних геологических дискуссий. Структура выделяется высокоамплитудными положительными аномалиями потенциальных полей, в целом изометричными, имеющими достаточно сложную структуру, с многочисленными локальными экстремумами. Веерообразная система разломов, протягивающихся от Енисей-Хатангского рифта в сторону Сибирской платформы и ортогональных её границе, свидетельствует о высоких тектонических напряжениях и попытке раскола Сибирской платформы в этом (юго-восточном) направлении. Можно полагать, что «попытка» раскола оказалась неудачной, и весь объем мантийного вещества выплеснулся в этой области. Это объясняет сложное строение Гулинского массива, в котором присутствуют магматические комплексы разного состава, включая известные кимберлиты [Егоров, 1991].

На схеме (рис. 4) показаны области распространения магматических комплексов, разделенных по глубине залегания источников. Наиболее погруженные источники выделены вдоль бортов ЕХ бассейна, на Анабарском щите и погруженных блоках Сибирской платформы в окрестности рек Хатанга и Хета. На западе аналогичные области отмечены в центральной части Колтогор-Уренгойского рифта. Области распространения источников в осадочном чехле (условно отнесены к домезозойским) тяготеют к обрамлению Янгодо-Горбитского выступа. К юго-западу от него отмечена серия линейных субмеридиональных локальных объектов повышенной намагниченности.

Выводы. Новые детальные актуализированные карты потенциальных полей, включившие результаты крупномасштабных гравиметрических и магнитометрических съемок и данные сейсморазведочных работ, позволили создать трехмерные плотностную

и магнитную модели ЕХ прогиба и провести их геологическую интерпретацию. Составлена уточненная схема строения региона ЕХ прогиба, как центральной структуры северного обрамления Сибирской платформы.

Наиболее важными геологическими результатами комплексной интерпретации являются:

ЕХ прогиб рассматривается как элемент глобальной Уренгой-Колтогорской рифтовой системы. В пределах ЕХ прогиба основная ось рифтовой системы, огибая Янгодо-Горбитский выступ, протягивается в северо-восточном направлении через центральную часть прогиба до Балахнинского вала и прослеживается далее на северо-восток системой трещин практически до зоны влияния структур Северного Ледовитого Океана.

Рифтовая система имеет сложное строение, она неоднократно меняет свое направление, в центральной части, перед Янгодо-Горбитским выступом, раз-

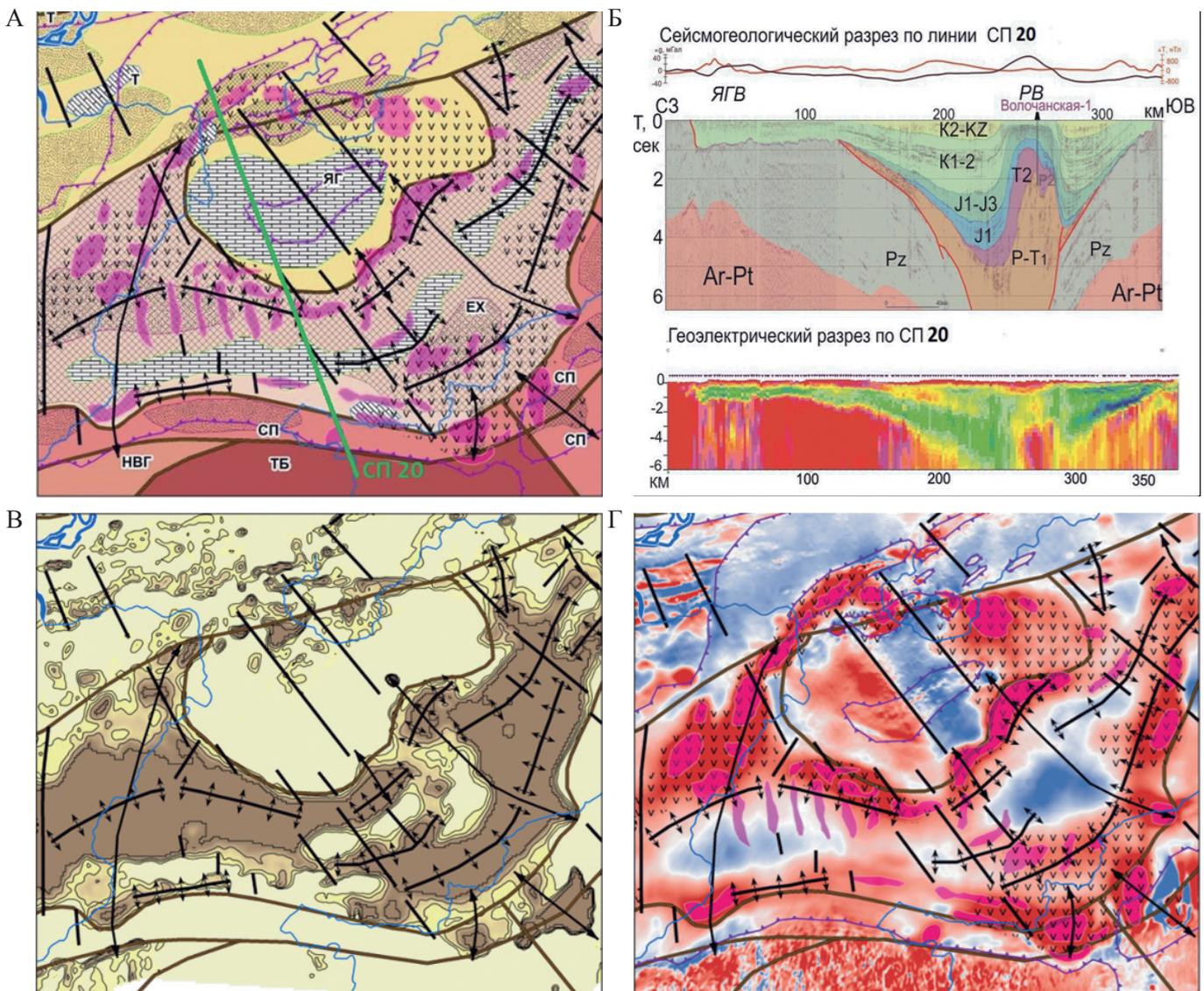


Рис. 5.

Объемная реконструкция ключевых элементов ЕХ рифтовой системы

А – Фрагмент схемы строения ЕХ рифтовой системы

Б – Геолого-геофизический разрез по профилю 22

(ЯГВ – Янгодо-Горбитский выступ; БВ – Балахнинский вал; РВ – Рассохинский вал)

В – плотность верхней коры по результатам 3Д моделирования

Г – Магнитная восприимчивость в нижнем слое по результатам 3Д моделирования

деляется на три части. Вдоль северного борта Сибирской платформы в пределах крыла, опущенного под воздействием рифтовых процессов, зафиксирована серия линейно вытянутых прогибов, предположительно в палеозойском комплексе.

Граница Сибирской платформы проходит по южному борту рифтовой системы (по южному борту Рассохинского и Балахнинского валов). А это значит, что бортовые зоны ЕХРП по палеозойским отложениям имеют сходные с Сибирской нефтегазоносной провинцией перспективы нефтегазоносности, что определяет необходимость бурения параметрической скважины на южном борту Енисей-Хатангского прогиба (Боганидско-Жданихинский прогиб), после дополнительных сейсмических работ в зоне сочленения плато Путорана и северного склона Анабарской моноклизы и южного борта ЕХ прогиба с задачей детального изучения верхне и среднепалеозойских комплексов для оценки перспектив нефтегазоносности. Здесь же выделена зона опущенных блоков с зоной локальных минимумов – возможных перспективных рифейских прогибов.

Новые представления о строении Енисей-Хатангского регионального прогиба, результаты комплексной интерпретации геолого-геофизических данных и трехмерного плотностного и магнитного моделирования, подтверждающие рифтовую природу структуры, служат основанием для переоценки поисковых перспектив площади. Проведенные исследования продемонстрировали, что применение гравиразведки и магниторазведки повышает эффективность комплексных исследований, позволяет максимально реализовать трехмерность результативных построений. Повышение точности и достоверности решений может быть обеспечено сгущением сети сейсмических профилей. Добавлением на той же топографической основе гравиметрических и магнитометрических наблюдений позволит повысить эффективность 2Д моделирования, увеличить детальность проработки моделей.

При выполнении настоящей работы надежность составления трехмерных моделей зависит от полноты характеристики петрофизических свойств (плотности и намагниченности), желательна максимальная привязанных к изучаемой территории.

В идеальном варианте желательна выполнение целевых гравиметрической и магнитометрической съемок сомасштабных проводимым исследованиям.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Атлас «Опорные геолого-геофизические профили России»*. Глубинные сейсмические разрезы по профилям ГСЗ, отработанным в период с 1972 по 1995 год. Электронное издание. СПб: ВСЕГЕИ, 2013. 94 с.
2. *Афанасенков А.П., Никишин А.М., Унгер А.В., Бордунов С.И., Луговая О.В., Чикишев А.А., Яковичина Е.В.* Тектоника и этапы геологической истории Енисей-Хатангского бассейна и сопряженного Таймырского орогена // *Геотектоника*. 2016. №2. С. 1–20. (2016а)
3. *Афанасенков А.П.* Мезо-кайнозойская история развития севера Западной и Восточной Сибири на основе анализа сейсмических данных (Гыдан, Усть-Енисейский район) / А.П.Афанасенков, А.М.Никишин, А.В.Унгер // *Геология нефти и газа*. 2017. №1. С. 34–42.

4. *Афанасенков А.П., Обухов А.Н., Каламкарров С.А., Чикишев А.А., Любаев Р.Р.* Новая тектоническая модель Енисей-Хатангского регионального прогиба // в сборнике *Тектоника современных и древних океанов и их окраин*. Материалы XLIX Тектонического совещания, посвященного 100-летию Ю.М. Пушаровского. М.: Геос, 2017. 280 с. Том 1, с. 33–38.

5. *Егоров Л.С.* Ийолит-карбонатитовый плутонизм (на примере маймеча-котуйского комплекса Полярной Сибири) // Ленинград, Недра, 1991, 260 с.

6. *Лыгин И.В., Кузнецов К.М., Соколова Т.Б.* Современный взгляд на строение Енисей-Хатангской рифтовой системы по результатам интерпретации потенциальных полей // в сборнике *Тектоника современных и древних океанов и их окраин*. Материалы XLIX Тектонического совещания, посвященного 100-летию Ю.М. Пушаровского. М.: Геос, 2017. 280 с. Том 1. С. 256–260.

7. *Мелихов В.Р., Лыгин И.В., Пуйин В.Б.* Строение земной коры в зоне сочленения Сибирской платформы и Западно-Сибирской плиты по комплексу геофизических данных. Геофизика. 2011. №2. С. 70–79.

8. *Милановский Е.Е., Мазарович О.А. и др.* Тектоническая карта России, сопредельных территорий и акваторий 1: 4 000 000 // Москва. ФГУП «Картография». 2007.

9. *Сурков В.С., Варламов А.И., Ефимов А.С., Гришин М.П., Кузнецов В.Л., Старосельцев В.С., Лотышев В.И., Смирнов Л.В.* Консолидированная кора платформенных областей Сибири // *Разведка и охрана недр*, 8, август, 2007. С. 3–9.

10. *Хаин В.Е., Соколов Б.А.* Окраины континентов – главные нефтегазоносные зоны Земли // *Советская геология*, №7, 1984. С. 49–60.

11. *Lygin V.A., Sokolova T.B., Lygin I.V.* Comprehensive Analysis and Interpretation of Gravimetric and Magnetometric Survey Data over Water Area and Mainland of Siberian Region в сборнике *Proceedings of IAG Symposium on Terrestrial gravimetry: Static and Mobile Measurement (TG-SMM2016) held on 12–15 April 2016 at the State Research Center of Russian Federation. Concern CSPI Elektropribor, JSC (St. Petersburg, Russia), место издания State Research Center of Russian Federation. Concern CSPI Elektropribor, JSC (St. Petersburg, Russia), с. 128–135.*

REFERENCES

1. *Atlas «Opornye geologo-geofizicheskie profili Rossii»*. Glubinnye sejsmicheskie razrezy po profiljam GSZ, otrabotannym v period s 1972 po 1995 god [Atlas «Support geological and geophysical profiles of Russia». Deep seismic sections along the DSS profiles worked out from 1972 to 1995]. Elektronnoe izdanie. SPb: VSEGEI, 2013. 94 s (in Russian).
2. *Afanasenkov A.P., Nikishin A.M., Unger A.V., Bordunov S.I., Lugovaja O.V., Chikishev A.A., Jakovishina E.V.* Tektonika i jetyapy geologicheskoy istorii Enisej-Hatangskogo bassejna i sopryazhennogo Tajmyrskogo orogena [Tectonics and stages of the geological history of the Yenisei-Khatanga basin and the associated Taimyr orogen] // *Geotektonika*. 2016. №2. S. 1–20. (2016a)
3. *Afanasenkov A.P.* Mezo-kajnozojskaja istorija razvitija severa Zapadnoj i Vostochnoj Sibiri na osnove analiza sejsmicheskikh dannyh (Gydan, Ust'-Enisejskij rajon) [Mesozoic and Cenozoic history of the development of the north of Western and Eastern Siberia on the basis of seismic data analysis (Gydan, Ust-Yenisei region)] / A.P.Afanasenkov, A.M.Nikishin, A.V.Unger // *Geologija nefi i gaza*. 2017. №1. S. 34–42 (in Russian).
4. *Afanasenkov A.P., Obuhov A.N., Kalamkarov S.A., Chikishev A.A., Ljubaev R.R.* Novaja tektonicheskaja model' Enisej-Hatangskogo regional'nogo progiba [New tectonic model of the Yenisei-Khatanga regional trough] // в сборнике *Тектоника современных и древних океанов и их окраин*. Материалы XLIX Тектонического совещания, посвященного 100-летию Ю.М. Пушаровского. М.: Геос, 2017. 280 с. Том 1, с. 33–38.

Ju.M. Pushharovskogo. M.: Geos, 2017. 280 s. Tom 1. S. 33–38 (in Russian).

5. Egorov L.S. Ijolit-karbonatitovyj plutonizm (na primere majmecha-kotujnskogo kompleksa Poljarnoj Sibiri) [Ijolite-carbonatite plutonism (on the example of the Maima-Kotuisik complex of the Polar Siberia)] // Leningrad, Nedra, 1991, 260 str (in Russian).

6. Lygin I.V., Kuznecov K.M., Sokolova T.B. Sovremennyy vzgljad na stroenie Enisej-Hatangskoj riftovoj sistemy po rezul'tatam interpretacii potencial'nyh polej [A modern look at the structure of the Yenisei-Khatang rift system from the interpretation of potential fields] // v sbornike Tektonika sovremennyh i drevnih okeanov i ih okrain. Materialy XLIX Tektonicheskogo soveshhanija, posvjashhennogo 100-letiju Ju.M. Pushharovskogo. M.: Geos, 2017. 280 s. Tom 1. S. 256–260 (in Russian).

7. Melihov V.R., Lygin I.V., Pijp V.B. Stroenie zemnoj kory v zone sochlenenija Sibirskoj platformy i Zapadno-Sibirskoj plity po kompleksu geofizicheskikh dannyh [The structure of the earth's crust in the junction zone of the Siberian platform and the West Siberian plate on the complex of geophysical data]. Geofizika. 2011. №2. S. 70–79 (in Russian).

8. Milanovskij E.E., Mazarovich O.A. i dr. Tektonicheskaja karta Rossii, sopredel'nyh territorij i akvatorij 1: 4 000 000 [Tectonic map of Russia, adjacent territories and water areas 1: 4 000 000] // Moskva. FGUP «Kartografija». 2007 (in Russian).

9. Surkov V.S., Varlamov A.I., Efimov A.S., Grishin M.P., Kuznecov V.L., Starosel'cev V.S., Lotyshev V.I., Smirnov L.V. Konsolidirovannaja kora platformennyh oblastej Sibiri [Consolidated crust of platform areas of Siberia] // Razvedka i ohrana neдр, 8, avgust, 2007. S. 3–9 (in Russian).

10. Hain V.E., Sokolov B.A. Okrainy kontinentov – glavnye neftegazonosnye zony Zemli [The outskirts of the continents are the main oil and gas bearing zones of the Earth] // Sovetskaja geologija, №7, 1984. S. 49–60 (in Russian).

11. Lygin V.A., Sokolova T.B., Lygin I.V. Comprehensive Analysis and Interpretation of Gravimetric and Magnetometric Survey Data over Water Area and Mainland of Siberian Region v sbornike Proceedings of IAG Symposium on Terrestrial gravimetry: Static and Mobile Measurement (TG-SMM2016) held on 12–15 April 2016 at the State Research Center of Russian Federation. Concern CSPI Elektropribor, JSC (St. Petersburg, Russia), mesto izdaniija State Research Center of Russian Federation. Concern CSPI Elektropribor, JSC (St. Petersburg, Russia), s. 128–135.

ОБ АВТОРАХ



АФАНАСЕНКОВ
Александр Петрович

Кандидат геолого-минералогических наук, Заслуженный геолог РФ, Почетный работник топливно-энергетического комплекса, Почетный разведчик недр, экс первый вице-президент по разведке и добыче ЗАО «ЮКОС РМ» в 1976 году окончил Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, по специальности геолог. Область научных интересов – региональная геология, нефтегазогеологическое районирование, количественная оценка и прогноз ресурсов углеводородного сырья, геохимия органического вещества. Автор монографии, более 50 научных публикаций, 8 научно-производственных отчетов.



ЛЫГНН
Иван Владимирович

Кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры геофизики геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова. Окончил МГУ в 2002 г. Область научных интересов – разработка и совершенствование методов обработки гравиметрических и магнитометрических данных, комплексная интерпретация геолого-геофизических материалов. Автор и соавтор более 60 научных публикаций.



ОБУХОВ
Александр Николаевич

Доктор геолого-минералогических наук, Главный научный сотрудник ФГБУ «ВНИГНИ». Окончил МГУ в 1976 году. Область научных интересов – тектоника, формации и эволюция нефтегазоносных бассейнов, обоснование крупных нефтегазопоисковых проектов на суше и на шельфах. Автор и соавтор более 80 научных публикаций.



СОКОЛОВА
Татьяна Борисовна

Старший научный сотрудник кафедры геофизических методов исследования Земной коры Геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова. Кандидат геолого-минералогических наук (с 1985 года). Основные направления научных интересов – теория и практика интерпретации гравитационных и магнитных полей при решении разномасштабных геологических структурно-поисковых задач. Автор и соавтор более 50 научных публикаций.



КУЗНЕЦОВ
Кирилл Михайлович

Аспирант кафедры геофизических методов исследования Земной коры Геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова. В 2014 году окончил Геологический факультет МГУ. Основные направления научных интересов – разработка и совершенствование теории и методов обработки и интерпретации данных потенциальных полей. Автор и соавтор более 10 научных публикаций.