

УДК 550.83

О.М. Сусанина¹, Д.А. Гилод², А.А. Булычев³**СТРОЕНИЕ ГЕТЕРОГЕННОГО ФУНДАМЕНТА КРАСНОЛЕНИНСКОГО СВОДА И СОПРЕДЕЛЬНЫХ ТЕРРИТОРИЙ (ЗАПАДНАЯ СИБИРЬ) ПО ДАННЫМ АНАЛИЗА ГРАВИТАЦИОННОГО И МАГНИТНОГО ПОЛЕЙ**

Представлена схема гравитационного и магнитного полей, позволяющая выделить в фундаменте исследуемого региона блоки, однородные по проявлению в потенциальных полях. Рассмотрены два подхода — качественный (визуальный) и разбиение на области с применением алгоритмов классификации, эти подходы дают схожие результаты. Отмечена приуроченность месторождений углеводородов, открытых в доюрских отложениях, к границам выделенных блоков.

Ключевые слова: гравитационное поле, магнитное поле, трансформанты, фундамент, классификация.

The scheme of potential fields represented in the article marks basement blocks as uniform regions in gravitational and magnetic fields. Two methods are investigated: classical (visual) one and classification according to a number of informative geophysical characteristics, giving similar results. Oil and gas fields stricken in basement rocks seem to be confined to dedicated blocks' boundaries considering as regional discordance unconformities.

Key words: gravity, magnetics, transforms, basement, classification.

Введение. Интерес к изучению доюрского основания Западной Сибири в связи с ее нефтегазоносностью не ослабевал на протяжении всей истории освоения недр этого региона. В последнее время породы фундамента рассматривают в качестве дополнительного источника прироста запасов углеводородов (УВ), чему способствуют многочисленные открытия во всем мире залежей нефти и газа в нетрадиционных резервуарах [Шахновский, 1997; Шнип, 2000; Шустер и др., 2003; Поспелов, 2005].

Постановка проблемы изучения доюрских пород подразумевает корректное картирование поверхности этих отложений. Даже с использованием метода, которому отдается сегодня наибольшее предпочтение — сейсморазведки, — этот вопрос до сих пор не удается решить однозначно, так как кровля разреза палеозойских пород настолько изменена палеоденудацией, что их акустические свойства приближаются к свойствам нижних горизонтов сейсмического чехла. Следовательно, и условия для возникновения отраженной волны создаются несколько глубже реальной поверхности доюрского комплекса (ДЮК) [Белова, Рыжкова, 2000].

Если привлечь данные других методов геофизики (гравиразведка и магниторазведка), можно повысить достоверность получаемых результатов, но и здесь имеется ряд проблем. Установлено существование лишь косвенной связи крупных форм рельефа фундамента Западной Сибири с магнитными и гравитаци-

онными аномалиями [Андреев, 1965], причем разным регионам плиты свойственны разные типы связей.

Материалы и методы исследования. Рассмотрим это подробнее на примере участка, расположенного в западной части Ханты-Мансийского автономного округа — Югра.

В тектоническом отношении рассматриваемый регион расположен на границе геоблоков, охватывающих Красноленинский свод и часть Фроловской мегавпадины (рис. 1). При сопоставлении структурной карты по кровле ДЮК, полученной по сейсмическим данным, и карты аномального гравитационного поля в редукции Буге (Δg_B) в масштабе 1:200 000 явные закономерности не выявлены. На рис. 2, А представлена полученная корреляционная зависимость значений абсолютных отметок кровли ДЮК от значений Δg_B . Облако рассеяния условно можно разделить на 4 основные области, которые отображают, с одной стороны, ступенчатое погружение фундамента в плане, а с другой — субмеридиональную зональность пород ДЮК по вещественному составу (рис. 2, Б). В том, как зависимости первого и второго типов «размазаны» на северо-западе региона, отражены восточные продолжения уралид, распространяющиеся и в пределы Западной Сибири. Рассмотрение вместо аномального поля его различных трансформаций не приводит к существенному изменению картины. Поэтому можно сделать вывод, что вклад в гравитационное поле в большей степени вносят состав и строение доюрского

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра геофизических методов исследования земной коры, аспирант, *e-mail:* susanina_om@pangea.ru

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра геофизических методов исследования земной коры, науч. с., *e-mail:* gilod@geophys.geol.msu.ru

³ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра геофизических методов исследования земной коры, профессор, докт. физ.-мат. н., *e-mail:* aabul@geophys.geol.msu.ru

фундамента, а в меньшей — морфология структурной поверхности по его кровле.

Что касается сопоставления структурной карты по кровле ДЮК и карты магнитного поля ΔT в масштабе 1:50 000, то здесь наблюдается аналогичная картина (рис. 3). Отсутствие единой корреляционной зависимости можно связать с тем, что гетерогенный фундамент плиты сложен разновозрастными породами. Также необходимо учитывать, что интерпретация магнитного поля на территории этого региона может быть сильно затруднена в связи с тем, что магнитоактивные породы, вызывающие интерпретируемые аномалии, залегают ниже поверхности доюрского фундамента [Андреев, 1965].

Качественный анализ исходных полей (рис. 4, А; 5, Б), а также их трансформант показал, что изучаемая территория делится на несколько аномальных областей, отличающихся как по среднему уровню полей, так и по их морфологии. Эти области, вероятно, и соответствуют различным тектоническим блокам фундамента. Преобладающее направление нарушений — северо-западное. Именно вдоль этого направления вытянута группа месторождений Красноленинского свода. Однако тектонические элементы начиная с Южно-Бобровского мегапрогиба и далее на запад (рис. 1) имеют уже северо-восточное простирание и отражаются в гравитационном и магнитном полях интенсивными положительными аномалиями. По мнению А.А. Нежданова [Нежданов, 2004], этим аномалиям соответствуют рифтоподобные структуры, приуроченные к прогибам с характерным грабеновым рисунком сейсмочафайл заполнения доюрской части разреза, с которыми могут быть связаны месторождения УВ.

Средние значения гравитационного поля на исследуемой площади колеблются около нуля, а аномалии достигают интенсивности 35 мГал. (рис. 4, А). Отличительная особенность — ярко выраженное простирание аномальной зоны положительных значений поля с юго-запада на северо-восток в западной части рассматриваемого региона, в то время как в восточной части аномалии имеют либо прямо противоположное простирание, либо мозаичную структуру. Морфология магнитного поля в целом повторяет картину гравитационного поля, но аномальная зона северо-восточного направления представлена в центральной части совокупностью отрицательных линейных аномалий, осложненных интенсивно положительными аномалиями по краям. Значения магнитного поля изменяются от -403 нТл до 1064 нТл, средний уровень около -49 нТл (рис. 5, А).

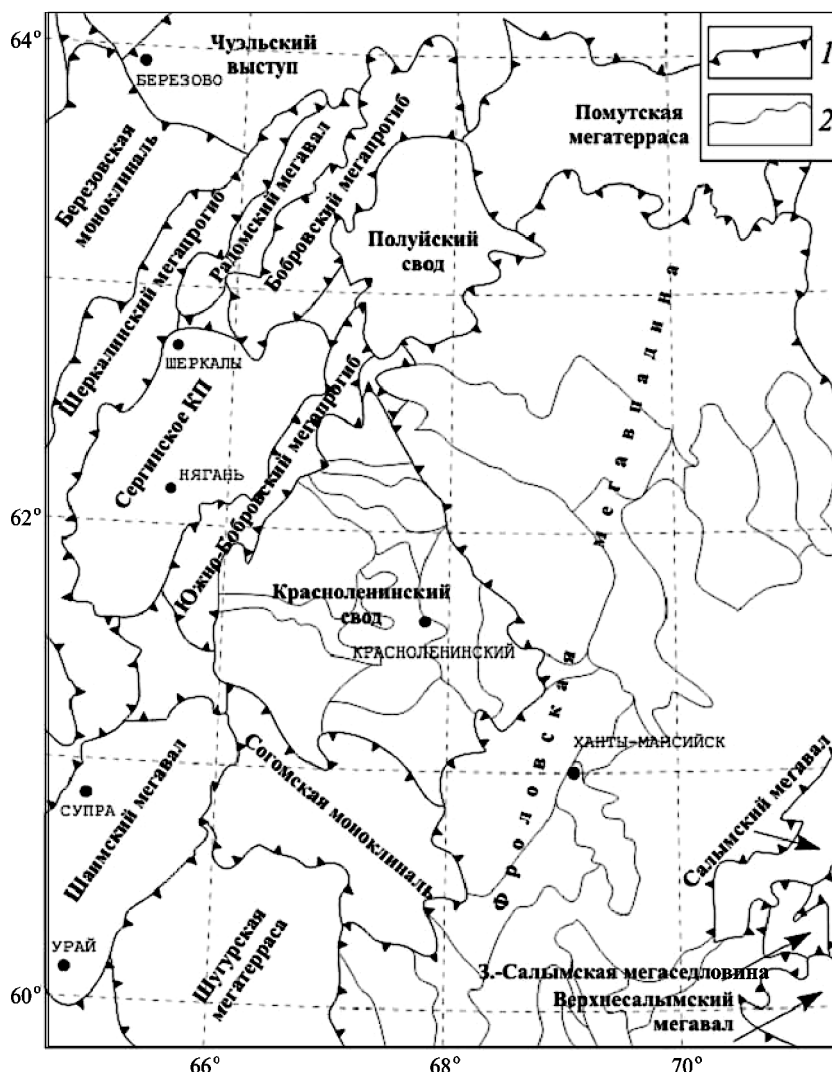


Рис. 1. Обзорная схема территории исследований, построенная на основе «Тектонической карты центральной части Западно-Сибирской плиты» (под ред. В.И. Шпильмана и др., 1998): 1 — границы тектонических элементов I порядка; 2 — границы внутреннего районирования тектонических элементов

В гравитационном и магнитном полях выделены низко-, средне- и высокочастотные составляющие (рис. 4, 5), каждую из которых можно ассоциировать с определенным структурно-вещественным комплексом (СВК). Понятие СВК введено в практику разведочной геофизики Г.С. Вахромеевым и Ю.А. Давыденко [Вахромеев, Давыденко, 1987]. В соответствии с их определением СВК — это объединенная по одному или нескольким физическим свойствам совокупность геологических образований, наделенная соответствующими эффективными физическими характеристиками. Другими словами, СВК — это совокупность элементов обобщенной и формализованной геологической модели, значимо отличающихся от прочих по какому-либо физическому параметру или их совокупности, причем границы СВК в природных условиях не обязательно должны совпадать с реальными геологическими границами. Из приведенного определения следует, что именно СВК, а не отдельные геологические признаки должны быть объектами геофизического изучения.

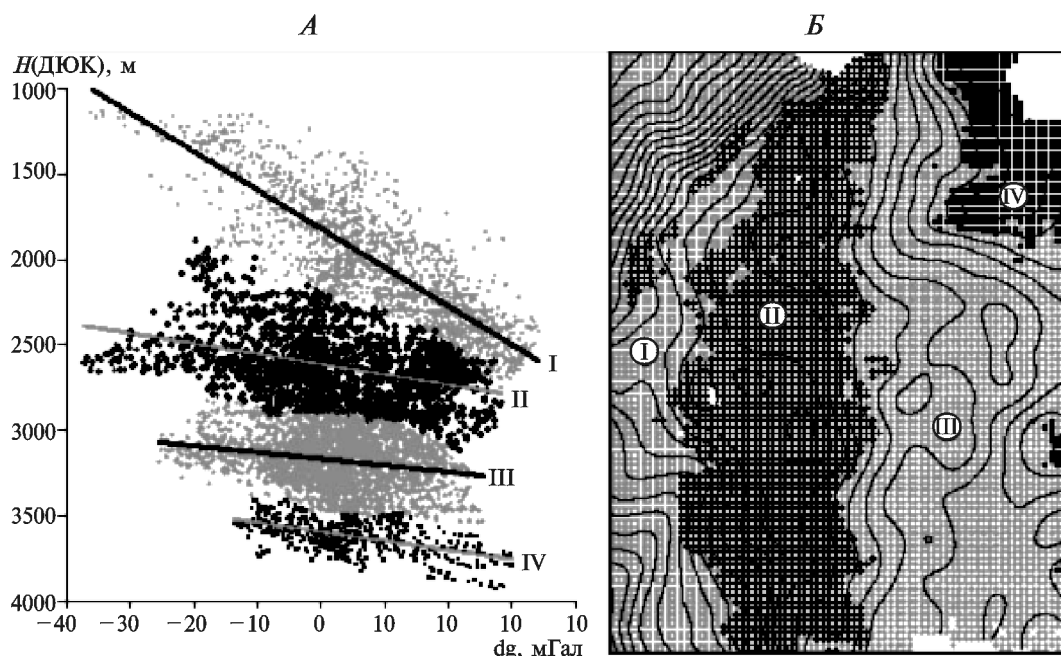


Рис. 2. График зависимости значений глубины кровли ДЮК от значений гравитационного поля (А), расположение типов зависимостей в плане (Б) с наложенными изогипсами регионального структурного плана по кровле ДЮК

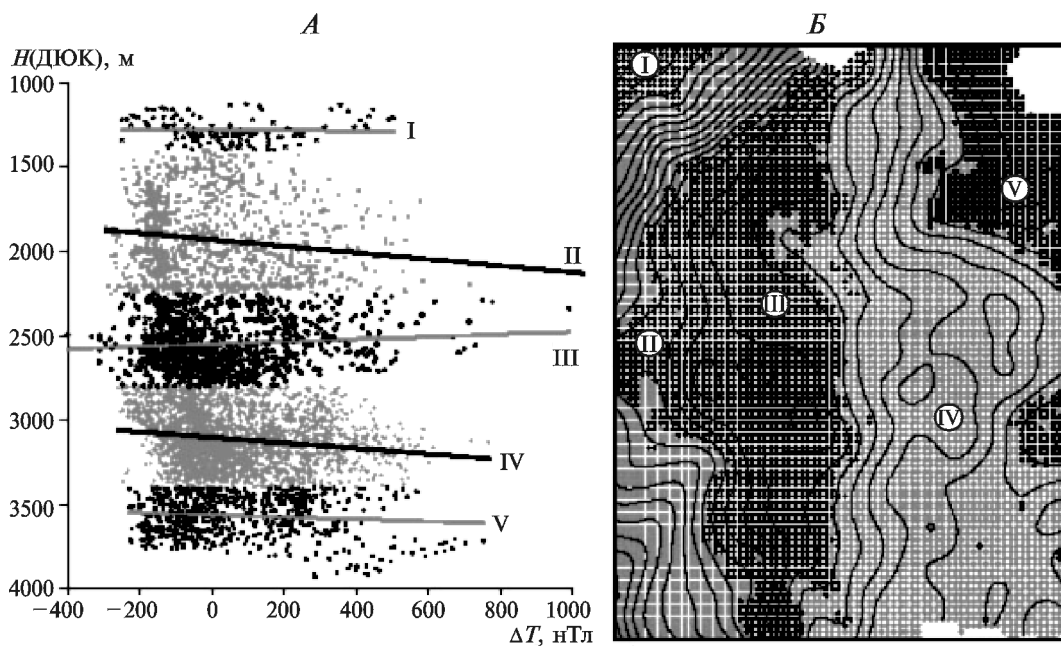


Рис. 3. График зависимости значений глубины кровли ДЮК от значений магнитного поля (А), расположение типов зависимостей в плане (Б) с наложенными изогипсами регионального структурного плана по кровле ДЮК

В данном случае с высокочастотной составляющей обеих полей отождествляется мезозойско-кайнозойский ортоплатформенный комплекс осадочного чехла, со среднечастотной компонентой — слабометаморфизованный мезозойско-палеозойский нормально-осадочный комплекс фундамента, а с низкочастотной составляющей — глубокометаморфизованный раннепалеозойско-протерозойский гетерогенный складчато-кристаллический фундамент.

Низкочастотные компоненты гравитационного и магнитного полей получены путем пересчета полей на высоту 50 и 40 км соответственно. По ним выделено

6 основных зон преимущественно северо-восточного простирания (рис. 6):

- зона А — самая северная, отрицательные значения полей, но лишь ее незначительная часть попадает в пределы исследуемой территории;
- зона Б — интенсивные положительные значения полей;
- зона В — интенсивные отрицательные значения гравитационного поля и знакопеременные магнитного;
- зона Г — отрицательные значения полей;
- зона Д — положительные значения обоих полей;

— зона Е — отрицательные значения обоих полей.

Две последние зоны в пределы исследуемой территории попадают незначительно, поэтому рассматриваются лишь для дальнейшего анализа полей.

Переходы между выделенными зонами обозначены градиентами полей различной интенсивности. Так, переходная полоса между зонами А и Б проявлена достаточно резким градиентом полей. Аналогичная ситуация наблюдается в юго-западной части переходной области между зонами Б и В, в то время как в восточной части имеет место постепенное изменение знака гравитационного поля.

При переходе к среднечастотным составляющим зоны, выделенные по низкой частоте, распадаются на более мелкие подзоны, представляющие собой отдельные интенсивные аномалии или целые области, в которых аномалии объединены по интенсивности, размерам, простиранию. Среднечастотная составляющая гравитационного поля получена как разность полей на высоте 20 и 50 км, аналогичная составляющая магнитного поля — пересчетом на высоту 25 км.

Зона А на среднечастотных компонентах полей сохранила знак и представлена отрицательной аномалией гравитационного поля, отделена от зоны Б, расположенной южнее, интенсивным градиентом северо-восточного простирания. В магнитном поле зона А представлена знакопеременной, преимущественно отрицательной областью, и, что характерно, имеет северо-северо-восточное простирание. Зона Б по среднечастотным составляющим разделяется на четыре сегмента. Зона В занимает наибольшую площадь на исследуемом участке, возможно, продолжается в восточном направлении. В целом эта зона представляет собой некую кольцевую структуру, состоящую из последовательно чередующихся положительных и отрицательных аномалий, несколько более четко проявленных в гравитационном поле, чем в магнитном. Ее восточное замыкание расположено уже за пределами исследуемого региона. Зона Г проявлена интенсивными отрицательными аномалиями обоих полей, имеющих северо-восточное простирание, вкрест основным направлениям аномалий подзоны В1. Выделение ее в самостоятельную зону обусловлено отличиями в морфологии и интенсивности полей по сравнению с сопредельной территорией. Зона Д имеет положительные значения обоих полей. Зона Е расположена в юго-восточной части территории, представлена интенсивной отрицательной,

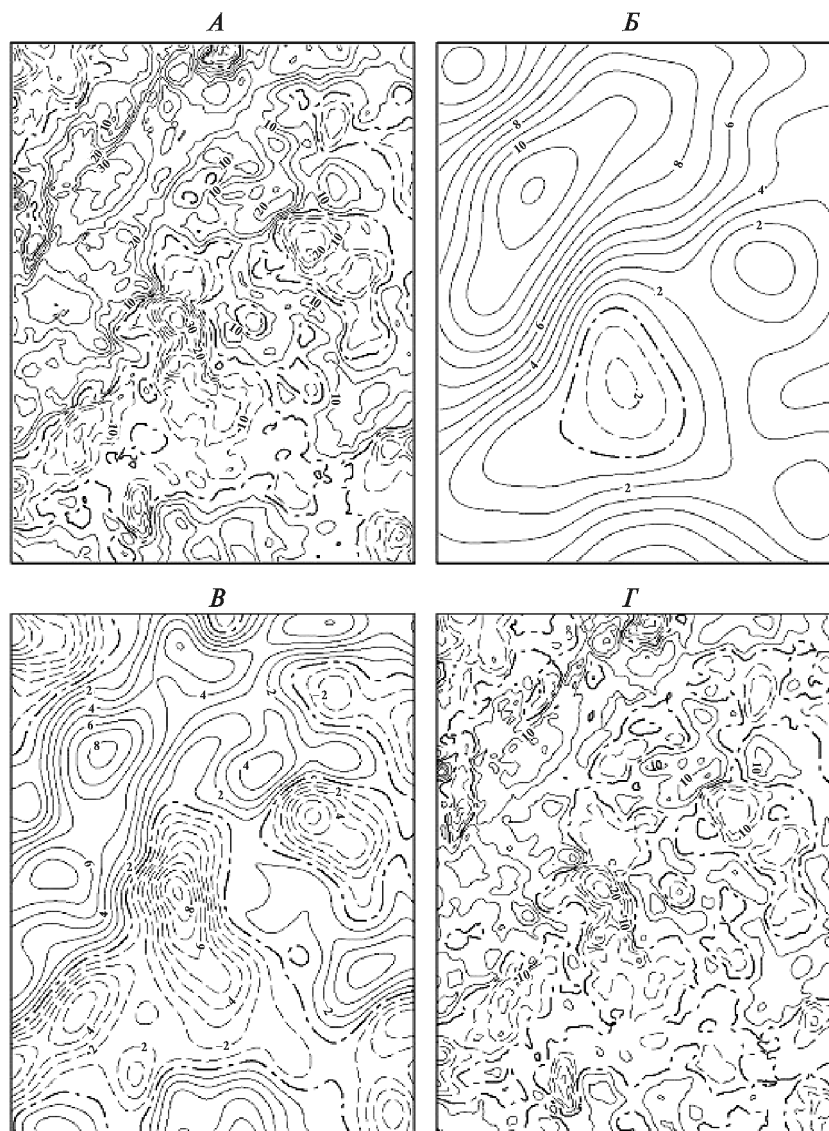


Рис. 4. Аномальное гравитационное поле в редукции Буге (А) и его трансформанты: низко- (Б), средне- (В) и высокочастотная (Г)

изометричной гравитационной и малоамплитудной отрицательной магнитной аномалиями.

Необходимо подчеркнуть смену основных простираний при переходе от низко- к среднечастотной составляющей. По представлениям авторов работы [Мегакомплексы и глубинное строение..., 1987], на севере Западной Сибири происходит наложение каледонско-герцинской Уральской складчатой системы северо-восточной ориентации на байкальскую систему северо-западного простирания, что определило резкое расчленение современного рельефа поверхности рифейских образований. Рифейский тектонический мегакомплекс, образуя самостоятельные структурные элементы, служит основанием палеозойских геосинклинальных систем. Таким образом, выделенную в полях зону Б можно отнести к образованиям уралид, а зоны Д и Е при рассмотрении полей в более широких рамках имеют очевидное северо-западное простирание, их можно отнести к зонам байкальской складчатости.

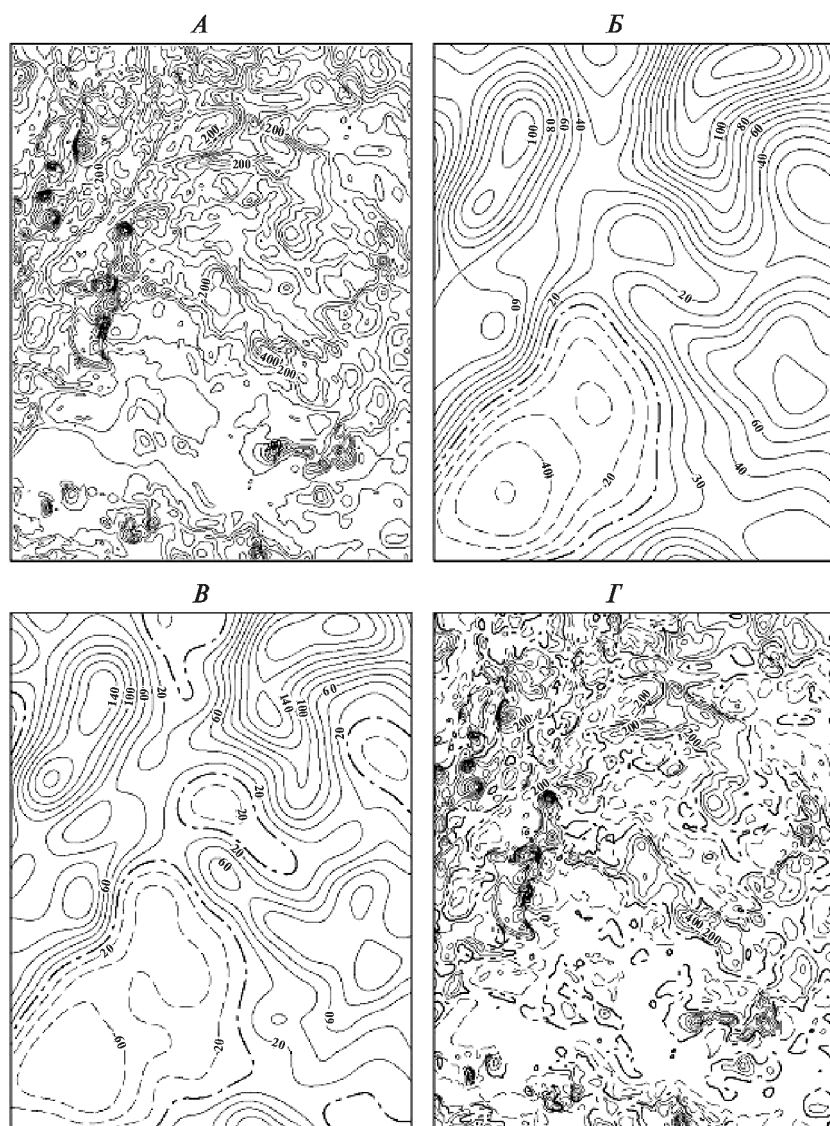


Рис. 5. Аномальное магнитное поле (А) и его трансформанты: низко- (Б), средне- (В) и высокочастотная (Г)

Зоны Г и В являются переходными. В пределах именно этих зон открыты залежи УВ в корях выветривания ДЮК на Среднеазымском и Ханты-Мансийском месторождениях, на отдельных площадях Красноленинского месторождения (Каменная, Пальяновская, Талинская и др.); в осадочно-вулканогенных отложениях триаса на Рогожниковском и Северо-Рогожниковском месторождениях (рис. 6). Залежи углеводородов в породах фундамента, по мнению В.В. Поспелова [Поспелов, 2005], связаны именно с зонами региональных несогласий, расположенных вблизи глубинных разломных дислокаций.

Приведенный подход к построению схемы полей можно несколько формализовать, используя алгоритмы классификации, позволяющие разбивать изучаемую площадь на области, однородные по проявлению в геолого-геофизических полях. В данном случае использовалась программа Топология, входящая в состав программного обеспечения (ПО) CERTAINTY (ЗАО «Пангея») [Лурье, 2004]. В основу метода по-

ложен агломеративный алгоритм безэталонной параметрической классификации. В рамках этого алгоритма каждый класс представляет собой «сферу» в многомерном признаковом пространстве, определяемом исходными картами-атрибутами. Степень рассеяния элементов каждого класса вокруг его центра характеризуется радиусом таких «сфер». Критерием отнесения экзаменуемой точки к тому или иному классу служит евклидово расстояние от этой точки до центров классов в многомерном признаковом пространстве. Точка относится к наиболее близкому ей классу при условии, что она попадает внутрь ограничивающей этот класс сферы.

Были рассчитаны карты классификаций для разных наборов атрибутов, которыми стали вышеописанные трансформанты полей. В качестве примера на рис. 7 приведено сопоставление ранее составленной схемы гравитационного и магнитного полей с картой классификации, полученной путем разбиения исследуемой территории по низко- и среднечастотным составляющим полей на 10 классов. В тектоническом отношении класс 10, приходящийся на зоны А, В1, В4, Е, выделяет гранитоидные блоки, соответствующие крупным положительным структурам в кровле доюрского фундамента: Чульский выступ, северную часть Красноленинского свода, Верхнеляминский вал, Верхнесалымский мегавал соответственно. Класс 5 (зоны В1, Г) также приходится на отрицательные значения полей, но интенсивность магнитных аномалий здесь в целом выше.

Этому классу соответствуют Шаимский мегавал и юго-западный склон Красноленинского свода. Классы 8 и 9 (зоны Б2, В6), наоборот, отвечают отрицательным структурам фундамента, таким как Шеркалинский мегапрогиб и Тундринская котловина. По остальным классам рассматриваемой карты классификации не удается выделить четкого соответствия с тектоническими элементами. В целом анализ показывает, что выделение блоков фундамента как путем качественного анализа, так и с использованием алгоритмов классификации достаточно обоснованно; подчеркнуты линейная структура западных зон А, Б, Г и мозаичная структура остальных.

Заключение. Составлена схема гравитационного и магнитного полей, позволяющая соотнести открытые в породах ДЮК месторождения с зонами сочленения разновозрастных комплексов (герцинского и каледонского) фундамента. Установлено соответствие крупных положительных тектонических структур отрицательным аномалиям обоих полей.

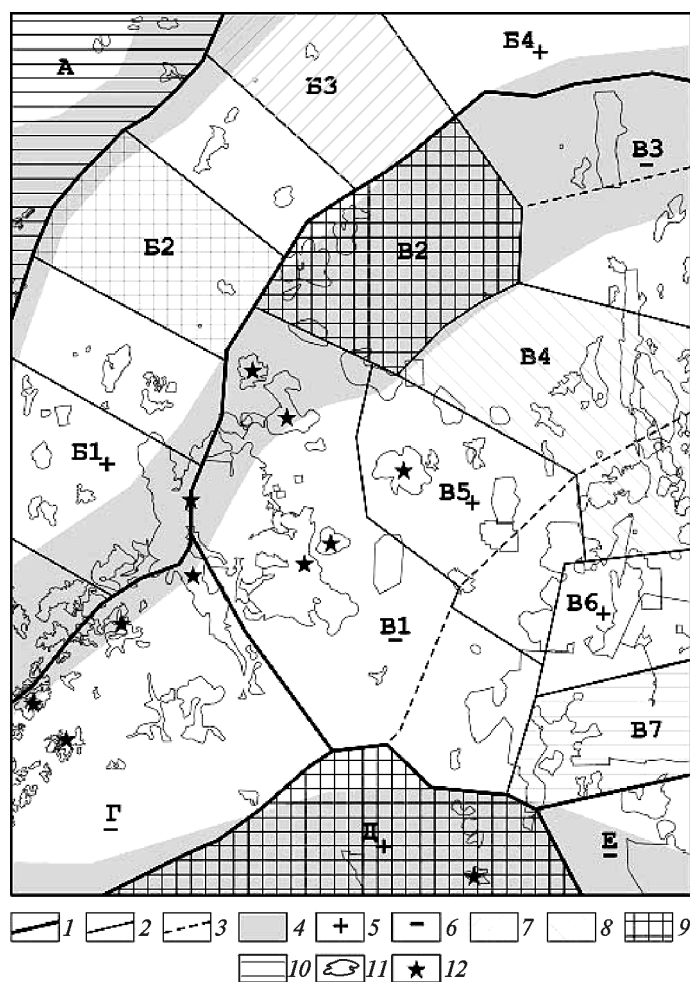


Рис. 6. Схема гравитационного и магнитного полей: 1 — границы блоков, выделенные по низкочастотным составляющим полей; 2 — границы блоков, выделенные по среднечастотным составляющим полей (уверенные); 3 — границы блоков, выделенные по среднечастотным составляющим полей (неуверенные); 4 — градиентные зоны низкочастотных компонент полей; 5 — среднечастотные положительные аномалии обоих полей; 6 — среднечастотные отрицательные аномалии обоих полей; 7 — среднечастотные положительные гравитационные и отрицательные магнитные аномалии; 8 — среднечастотные отрицательные гравитационные и положительные магнитные аномалии; 9 — среднечастотные положительные гравитационные аномалии; 10 — среднечастотные отрицательные гравитационные аномалии; 11 — интегральные контуры месторождений; 12 — месторождения и площади, где открыты залежи УВ в породах ДЮК

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Андреев Б.А. Геофизические методы в региональной и структурной геологии. М.: Недра, 1965. 324 с.
 Белова Е.В., Рыжкова С.В. Геолого-геофизические модели нефтегазовых скоплений в палеозойских отложениях Западной Сибири // Геология нефти и газа. 2000. № 4. С. 25–34.
 Вахромеев Г.С., Давыденко А.Ю. Моделирование в разведочной геофизике. М.: Недра, 1987. 192 с.
 Лурье М.Б. Применение алгоритмов классификации при решении задач палеотектонического районирования // Геофизика. 2004. Спецвып. С. 12–14.

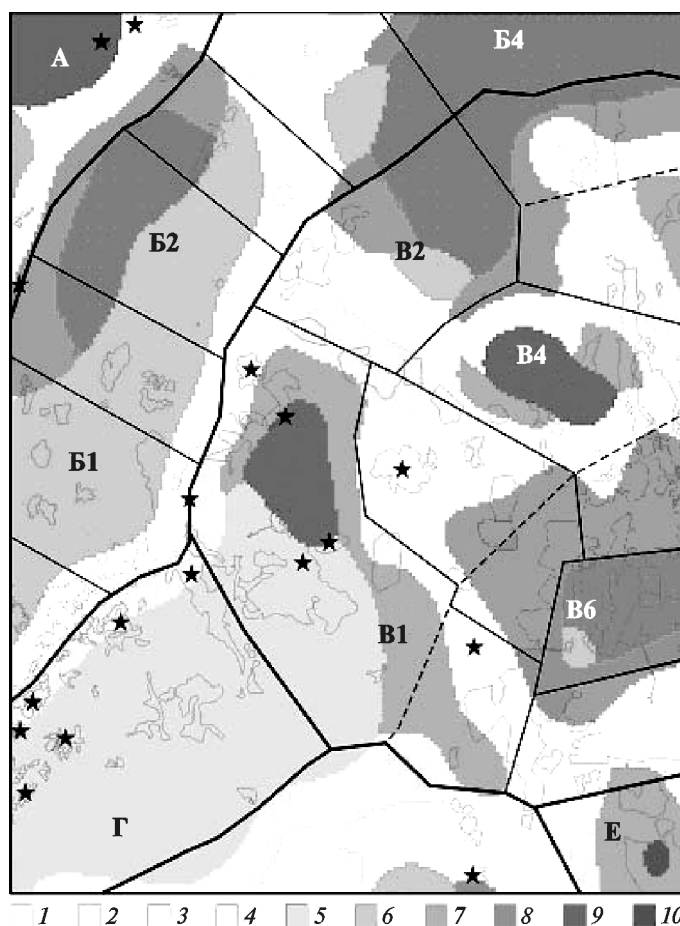


Рис. 7. Карта классификации гравитационного и магнитного полей. Тон — классы 1–10. Остальные условные обозначения см. на рис. 6

Мегакомплексы и глубинная структура земной коры Западно-Сибирской плиты / Под ред. В.С. Суркова. М.: Недра, 1986. 149 с.

Нежданов А.А. Сейсмогеологический анализ нефтегазоносных отложений Западной Сибири для целей прогноза и картирования неантиклинальных ловушек и залежей УВ: Автореф. докт. дис. Тюмень, 2004.

Поспелов В.В. Кристаллический фундамент: геолого-геофизические методы изучения коллекторского потенциала и нефтегазоносности. М.; Ижевск: Институт компьютерных исследований, НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2005. 258 с.

Шахновский И.М. Формирование залежей нефти и газа в нетрадиционных резервуарах // Геология нефти и газа. 1997. № 9. С. 35–41.

Шнип О.А. Геологические критерии оценки перспектив пород фундамента на нефть и газ // Там же. 2000. № 5. С. 21–26.

Шустер В.А., Левянт В.Б., Эланский М.М. Нефтегазоносность фундамента (проблемы поиска и разведки месторождений углеводородов). М.: Техника, 2003. 176 с.

Поступила в редакцию
20.04.2010