

учетом АВПД на глубинах ее залегания –  $K_d > 1,6$ ) составляют 1980,2 млрд м<sup>3</sup>.

Крупные и, возможно, крупнейшие залежи газа на этой площади могут быть открыты также в глубокопогруженных триасовых отложениях, в которых по аналогии с разрезом, вскрытым сверхглубокой скв. СГ-6, можно ожидать наличия вторичных сложнопостроенных высокоемких коллекторов и надежных покрывок – флюидоупоров.

Естественно, что освоение таких гигантских и крупнейших высокопродуктивных глубокопогруженных залежей – проблема не сегодняшнего, а завтрашнего дня – поисковое бурение на доюрские комплексы на этой площади планируется на 2010 г.

Разумеется, что глубокопогруженные триасовые отложения перспективны для открытия крупных залежей газа на многих перспективных площадях, расположенных на основных путях струйной миграции (см. рис. 1). Оценка перспективных ресурсов газа ка-

тегории С<sub>3</sub> триасовых отложений должна стать делом ближайшего будущего.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Абросимова О.О., Рыжкова С.В. Особенности карбонатных коллекторов в доюрских породах Западной Сибири // Критерии оценки нефтегазоносности ниже промышленно освоенных глубин и определение приоритетных направлений геолого-разведочных работ. — Пермь: КамНИИКИГС, 2000.
2. Перспективы газонефтеносности доюрских образований Севера Западной Сибири / А.А. Плотников, Б.М. Генкин, М.В. Самолетов, А.В. Подгорнов // Газовая геология России. Вчера, сегодня, завтра. — М.: ООО «ВНИИГАЗ», 2000.
3. Раннекеммерийские (пермо-триасовые) прогибы — новый тип газоносных структур арктической части Западной Сибири / Л.Д. Цветков, В.С. Бочкарев, В.И. Горбачев, С.А. Рьльков, С.Г. Кекух // Критерии оценки нефтегазоносности ниже промышленно освоенных глубин и определение приоритетных направлений геолого-разведочных работ. — Пермь: КамНИИКИГС, 2000.

УДК 553.98:041.57:551.24 (571.5)

## АНАЛИЗ ТЕКТОНИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИЙ В ПРЕДЕЛАХ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ С ПОМОЩЬЮ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

С.В. Ивашко  
(ВНИГНИ)

Накопление фактического материала по крупным нефтегазоносным провинциям, а также развитие глобальной теории литосферных плит [7, 8] требуют периодического пересмотра отдельных положений, уточнения выявленных ранее закономерностей геологического строения и определения новых приоритетных направлений поисково-разведочных работ. При этом в отдельных ситуациях выполнение сравнительно недорогих и относительно нетрудоемких исследований может принести качественно новую объективную информацию об объектах исследований (в частности, о тектонических деформациях и новых перспективных участках нефтегазоносных провинций). Дополнительная информация может стимулировать новое осмысление и развитие существующей базовой модели геологического строения региона, которая в дальнейшем может уточняться по мере поступления новых данных.

В пределах Сибирской платформы по картам модуля градиентов ( $dZ = dX \cdot dY$ ) и по остаточным аномалиям структурной поверхности фундамента построена результирующая карта всех выделенных прогнозных дизъюнктивных деформаций. Аномалии на указанных картах, отождествляемые с дизъюнктивными дислокациями, в северо-восточной части площади исследований и в Непско-Ботубинской нефтегазоносных областях являются основным фактором формирования этих частей региона. Аномалии, которые зафиксированы в юго-восточной части площади исследований, отождествляются с тектоническими нарушениями, которые могли формировать новую нефтегазоносную область на стыке Западной и Восточной Сибири. Анализ тектонических нарушений на базе компьютерного моделирования дает объективную дополнительную информацию без значительных на то затрат.

We constructed the map of all selected predictive disjunctive deformations on a base of gradient map and residual anomalies of structural basement surface. These anomalies as a disjunctive dislocation are the most important factor of north-east and Nepsko-Botubinsky oil and gas area formation. South-east investigation region anomalies are identified with tectonic fault and could form the new oil-gas-potential area on the West and East Siberia border. Computer analysis of the tectonic fault can give additional information without significant expenditure.

В последнее десятилетие двадцатого столетия в России опубликовано много работ, посвященных обобщению материалов региональной геологии и нефтегазоносности отдельных нефтегазоносных провинций и самостоятельных нефтегазоносных областей. В частности, в работе [6] обобщены материалы по геологическому строению и нефтегазоносности крупных тектонических элементов – древних и молодых платформ и подвижных, окаймляющих платформы поясов всей территории бывшего СССР.

Для понимания развития тектонических деформаций и установления влияния их на строение не только вышезалегающих тектонических комплексов, но и на формирование осадочных комплексов нефтегазоносных провинций и месторождений нефти и газа была принята попытка с помощью компьютерного моделирования выполнить анализ блоковой тектоники Вос-

точной Сибири на уровне подстилающей осадочную толщу поверхности кристаллического фундамента.

Фундамент Сибирской платформы (кратона) [7] выступает на поверхность в основном в двух крупных массивах (щитах): на юго-востоке в Алдано-Становом, на севере в Анабарском. Остальная поверхность кратона покрыта осадочным чехлом, а число скважин, достигших фундамента, здесь ограничено. Составить представление о распространении основных комплексов фундамента можно на основе геофизических данных.

Так, в Восточной Сибири по поверхности фундамента геолого-геофизическими методами фиксируются (с той или иной степенью достоверности) разрывные нарушения и грабены, многие из которых приурочены к зонам сочленения разновозрастных блоков. Большинство крупных структурных элементов, выраженных в строении фундамента, находит отражение и в осадочном комплексе.

Изучая региональную тектонику Сибирской платформы [2], удалось выполнить картографическое моделирование с использованием карты поверхности кристаллического фундамента Сибирской платформы под редакцией В.С. Суркова и М.П. Гришина (1991). При этом для моделирования применяли метод разделения эмпирических данных на локальную и региональную составляющие с помощью тренд-анализа [1, 3, 4].

Суть методики состояла в том, что исследуемая структурная поверхность аппроксимировалась математическими моделями разных порядков. Каждая модель при этом отображала различные вероятностные детали гипсометрии геологической поверхности. И чем проще были заданы уравнения аппроксимации, тем более сглаженный вариант карты получался при одной и той же исходной информации.

Итак, при моделировании за основу брали геологическую карту поверхности кристаллического фундамента Сибирской платформы. С этой карты по сетке контрольных точек (рис. 1, А) с условными координатами сняты отметки поверхности фундамента, по которым и аппроксимировалась структурная поверхность. Методология снятия исходных данных, моделирования структурных поверхностей и дальнейшей интерпретации полученных материалов подробно изложена в работах [3, 4]. Здесь же на примере Сибирской платформы показана эффективность современных приемов математического моделирования, тренд-анализа структурных поверхностей, построения карт градиентов  $dX$ ,  $dY$ , модуля градиента ( $dZ = dX \times dY$ ), а также обобщены результаты исследований по анализу тектонических деформаций.

На рис. 1, Б приведена модель структурной поверхности, которая выполнена как аппроксимация структурной поверхности 3-го порядка. Карта имеет хорошую сходимость с исходной моделью кристал-

лического фундамента, выполненной под редакцией В.С. Суркова и М.П. Гришина. Заметим, что в случае неадекватности полученной математической модели исходной карте необходимо сгущать сетку контрольных точек и выполнять аппроксимацию заново. В данном случае этого не потребовалось, так как густота точек была достаточно плотной.

При построении математических моделей на ЭВМ необходимо осознавать, что часто некоторые их характеристики остаются неопределенными, а интерпретация моделей затруднительна и неоднозначна. Поэтому целесообразно полученную модель сопоставить с априорной моделью и провести ее анализ с учетом новой информации в исследуемом регионе. В дальнейшем геологические данные будут все более пополняться, что повлечет за собой построение более совершенной модели структурной поверхности и ее трансформант.

Построенные пликвативные модели кристаллического фундамента Сибирской платформы реконструировались с целью изучения деформаций фундамента. Модели карты строились в виде полиномов 2, 3 и 4-й степеней, а затем производились построения ее трансформант, т. е. карт градиентов  $dX$ ,  $dY$ ; карты модуля градиента ( $dZ = dX \cdot dY$ ); карты остаточных аномалий структурной поверхности фундамента.

Как известно [1], формализованное картографическое изображение по самой своей сути приспособлено для математического анализа. Каждой точке карты с координатами  $X$  и  $Y$  соответствует на карте лишь одно значение  $Z$ , что позволяет рассматривать данное изображение как функцию  $Z = F(X, Y)$ . Многие изображения, показанные на картах, реально связаны между собой функциональными или статистическими зависимостями. Эти зависимости сложны, многообразны и не всегда достаточно изучены, тем не менее для их анализа удается применять формальный математический аппарат, аппроксимируя сложные и неизвестные функции более простыми и известными.

В пределах Сибирской платформы было реализовано построение карты модуля градиента по алгоритму, составленному Д.Г. Ивашко. При построении карты были использованы следующие теоретические предпосылки: пусть функция  $f(x, y)$  задана матрицей значений  $F$  на сетке с шагами  $\Delta x$ ,  $\Delta y$  по осям  $x$  и  $y$ , соответственно. В непрерывной математике градиент ( $\text{grad}f$  или  $\nabla f$ ) функции  $f(x, y)$  определяется как век-

тор с координатами  $\left( \frac{\partial f(x, y)}{\partial x}, \frac{\partial f(x, y)}{\partial y} \right)$ . Модуль

(длина) произвольного вектора  $(X, Y)$  вычисляется по формуле  $\sqrt{X^2 + Y^2}$ . Тогда модуль градиента:

$$|\nabla f| = \sqrt{\left( \frac{\partial f(x, y)}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial f(x, y)}{\partial y} \right)^2}$$

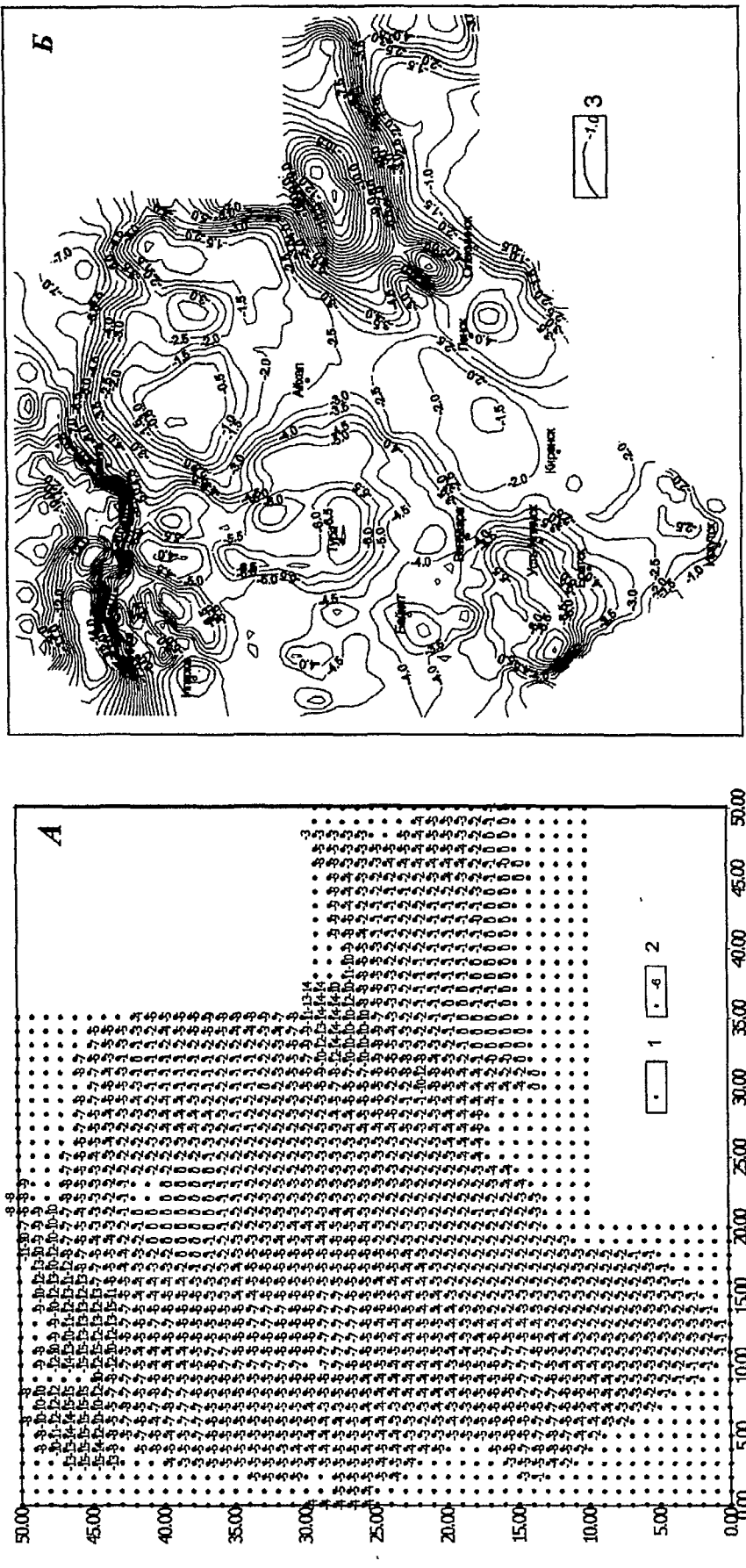


Рис. 1. Сетка расчетных точек (А) и глициевая модель структурной поверхности фундамента (Б) Сибирской платформы (при моделировании на ЭВМ использованы материалы В. С. Суркова):  
 1 — точки, в которых не использовались данные для построения модели поверхности и ее трансформаций; 2 — точки, в которых использовались данные при построениях на ЭВМ;  
 3 — изолинии структурной поверхности фундамента (км)

Возвращаясь к дискретно заданной функции  $f(x, y)$ , градиент можно приближенно посчитать по формуле

$$\nabla f = \left( \frac{f(x + \Delta x, y) - f(x, y)}{\Delta x}, \frac{f(x, y + \Delta y) - f(x, y)}{\Delta y} \right).$$

Тогда для модуля градиента получим формулу

$$|\nabla f| = \sqrt{\left( \frac{f(x + \Delta x, y) - f(x, y)}{\Delta x} \right)^2 + \left( \frac{f(x, y + \Delta y) - f(x, y)}{\Delta y} \right)^2}. \quad (1)$$

Если посчитать  $f(x + \Delta x, y)$  и  $f(x, y + \Delta y)$  и подставить их значения в формулу (1), то получим

$$|\nabla f| = \sqrt{\left( \frac{F_x - F_0}{\Delta x} \right)^2 + \left( \frac{F_y - F_0}{\Delta y} \right)^2}.$$

Далее полученные значения  $|\nabla f|$  были внесены в таблицу данных и проинтерполированы.

Используя описанный алгоритм, в пределах Сибирской платформы удалось построить три результативные карты, характеризующие прогнозируемую региональную тектоническую трещиноватость и являющиеся производными картами структурной поверхности. В то же время это попытка с помощью описанного математического приема получить качественные и количественные показатели, отразившиеся на этих картах. В данном случае это карты  $dX$  (рис. 2, А) и  $dY$  (рис. 2, Б) как функция  $f(x, y)$ , которая задана матрицей значений  $F$  на сетке с шагами  $\Delta x$ ,  $\Delta y$  по осям  $x$  и  $y$ , соответственно. Они характеризуют вероятную расчлененность тектонического рельефа и могут в какой-то мере отражать не только современное, но и прошлые состояния рельефа. Необходимо отметить, что на карте  $dX$  более четко проявляются субмеридиональные тектонические направления, а на карте  $dY$  – широтные. Это свидетельствует о том, что такие направления тектонических разломов в пределах Сибирской платформы имеют место. Третья результативная карта – это карта модуля градиента ( $dZ = dX \times dY$ ), где ( $\text{grad} f$  или  $\nabla f$ ) функции  $f(x, y)$  определены как вектор с координатами  $\left( \frac{\partial f(x, y)}{\partial x}, \frac{\partial f(x, y)}{\partial y} \right)$ . Эта

карта (рис. 3, А) иллюстрирует аномалийное поле модуля градиента ( $dZ = dX \cdot dY$ ) и позволяет выделить предполагаемые основные зоны дизъюнктивных деформаций структурной поверхности фундамента Сибирской платформы.

Аномалии интенсивностью более единицы затенены (см. рис. 3, А), а предполагаемые тектонические нарушения значительной амплитуды протрассированы по апикальным участкам аномалий (рис. 3, Б). Обращает на себя внимание тот факт, что интенсивные аномалии модуля градиента выделяются в северной и восточной областях исследуемой территории. Вместе с тем аномалии модуля градиента значительной интенсивности фиксируются и в юго-западной части региона вдоль сочленения Западно-Сибирской плиты с Восточно-Сибирской платформой. На остальной

территории поле модуля градиента поверхности основания характеризуется малой интенсивностью. Предполагаемые тектонические нарушения значительной амплитуды на карте модуля градиента совпадают с наиболее интенсивными флексурами, отмечаемыми на структурной карте поверхности кристаллического фундамента Сибирской платформы сгущением изолиний (см. рис. 1, Б), но их местоположение на карте модуля градиента конкретизировано.

Известно, что кристаллический фундамент Сибирской платформы представляет собой сложное гетерогенное складчатое сооружение [5], сформировавшееся в результате длительной многостадийной истории развития Восточной Сибири. А структурно-вещественная гетерогенность фундамента, характеризующаяся геоблоковой мозаикой разновозрастных мегакомплексов, в совокупности с неравномерным проявлением глубинных термодинамических факторов оказала определенное влияние на последующую стадию развития земной коры платформы. Это, вероятно, повлияло и на строение тектонических комплексов, сформировавшихся в последующие этапы тектонического развития Восточной Сибири, а также на заложение тектонических нарушений, которые фиксируются на карте модуля градиента поверхности основания (см. рис. 3). По-видимому, четко выраженные аномалии на карте, отождествляемые с дизъюнктивными дислокациями, наблюдаемыми в северо-восточной части площади исследований (в пределах Енисейско-Хатангской нефтегазоносной области) в последующем и были одним из основных факторов ее формирования. Это относится и к дизъюнктивным дислокациям, фиксируемым в юго-восточной части территории (в пределах Вилуйской, Западно-Вилуйской и Непско-Ботуобинской нефтегазоносных областей). Особо следует отметить аномалии, которые фиксируются в юго-западной части площади. Они также отождествляются с тектоническими нарушениями и могут быть фактором формирования новой нефтегазоносной области на стыке Западной и Восточной Сибири. Интенсивная аномалия к северо-востоку от Иркутска отождествляется с крупным тектоническим нарушением, которое, очевидно, в дальнейшем стало причиной зарождения рифтовой зоны.

Кроме того, вычитанием различных полиномов структурной поверхности были получены модели остаточных аномалий разных порядков. Результативные карты разности структурных поверхностей по смыслу являются картами остаточных аномалий тектонической компоненты гипсометрии поверхности кристаллического фундамента Сибирской платформы. Применение же математического весового осреднения интерполируемой поверхности позволило более обоснованно фиксировать региональную тенденцию в изменении гипсометрии фундамента и в ее остаточных компонентах. Карты остаточных аномалий анализировались также с целью изучения распределения зон крупных тектонических нарушений и выделения зон рифтогенеза в пределах Сибирской платформы.

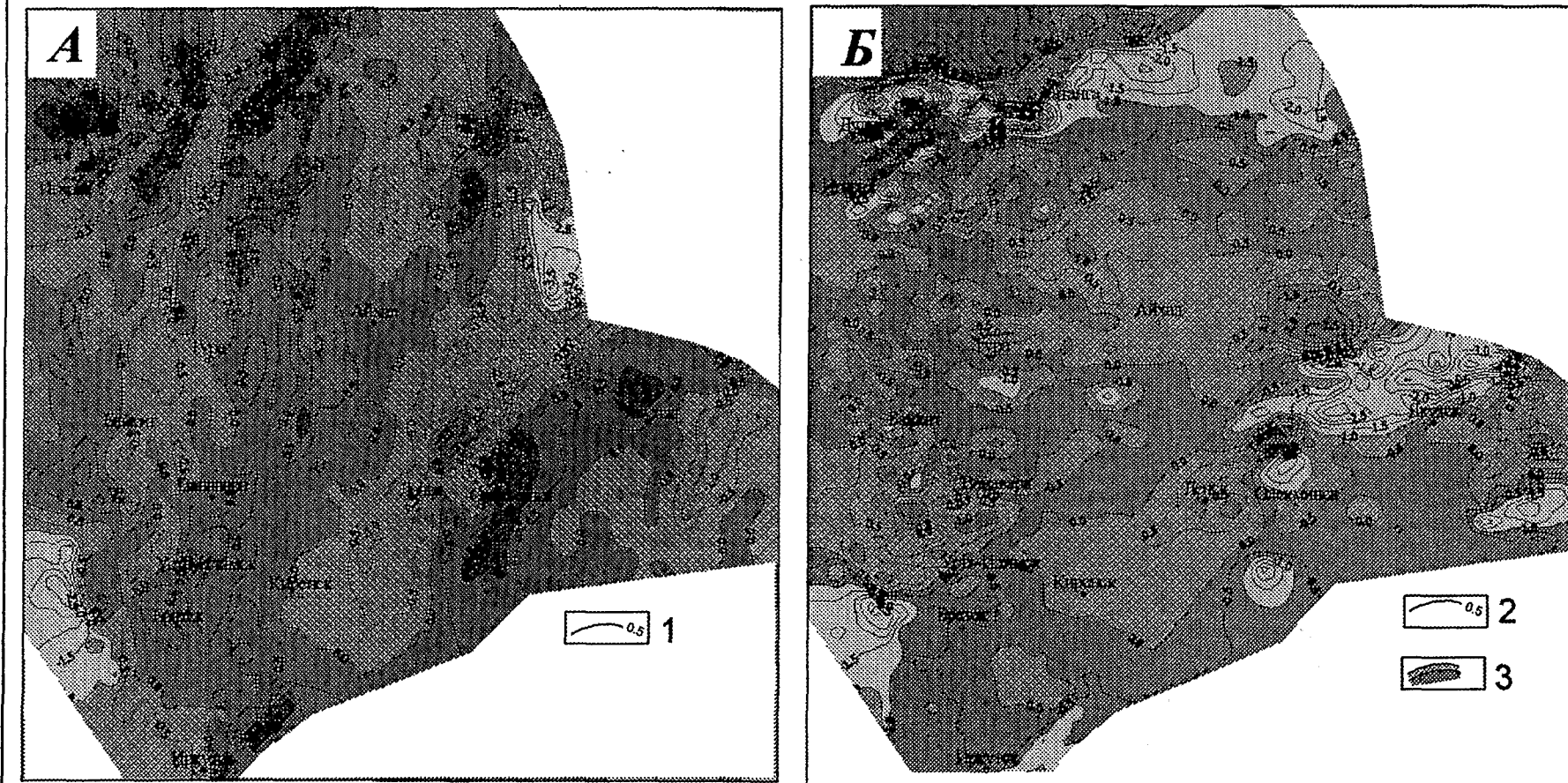


Рис. 2. Карты градиентов  $dX$  (А) и  $dY$  (Б) структурной поверхности фундамента Сибирской платформы:  
1 – изолинии градиента  $dX$ ; 2 – изолинии градиента  $dY$ ; 3 – различная интенсивность градиентов  $dX$ ,  $dY$

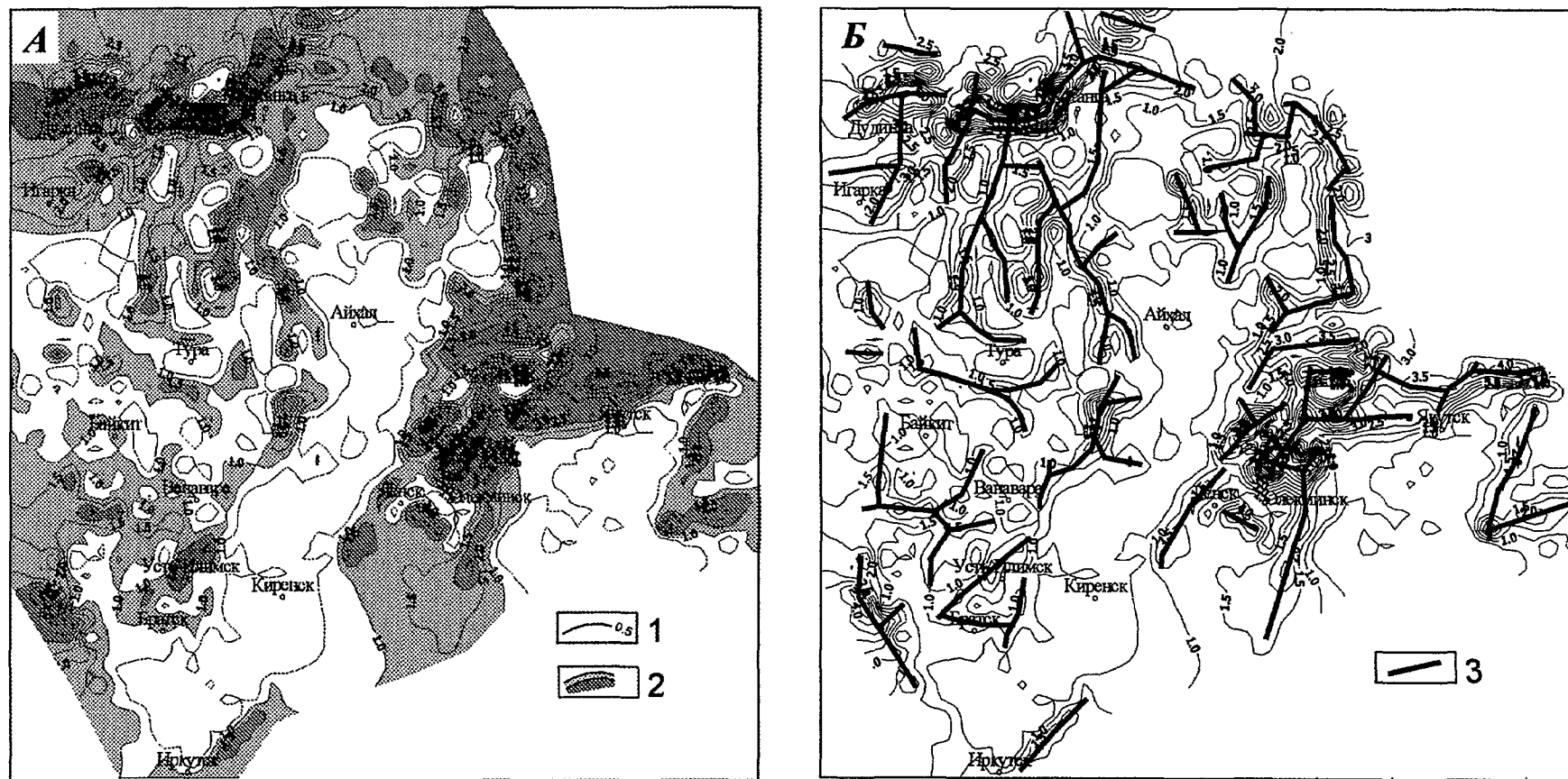


Рис. 3. Карта модуля градиента ( $dZ = dX \cdot dY$ ) структурной поверхности фундамента Сибирской платформы (А) и анализ ее деформаций (Б):  
 1 – изолинии модуля градиента; 2 – различная интенсивность модуля градиента; 3 – предполагаемые тектонические нарушения значительной амплитуды

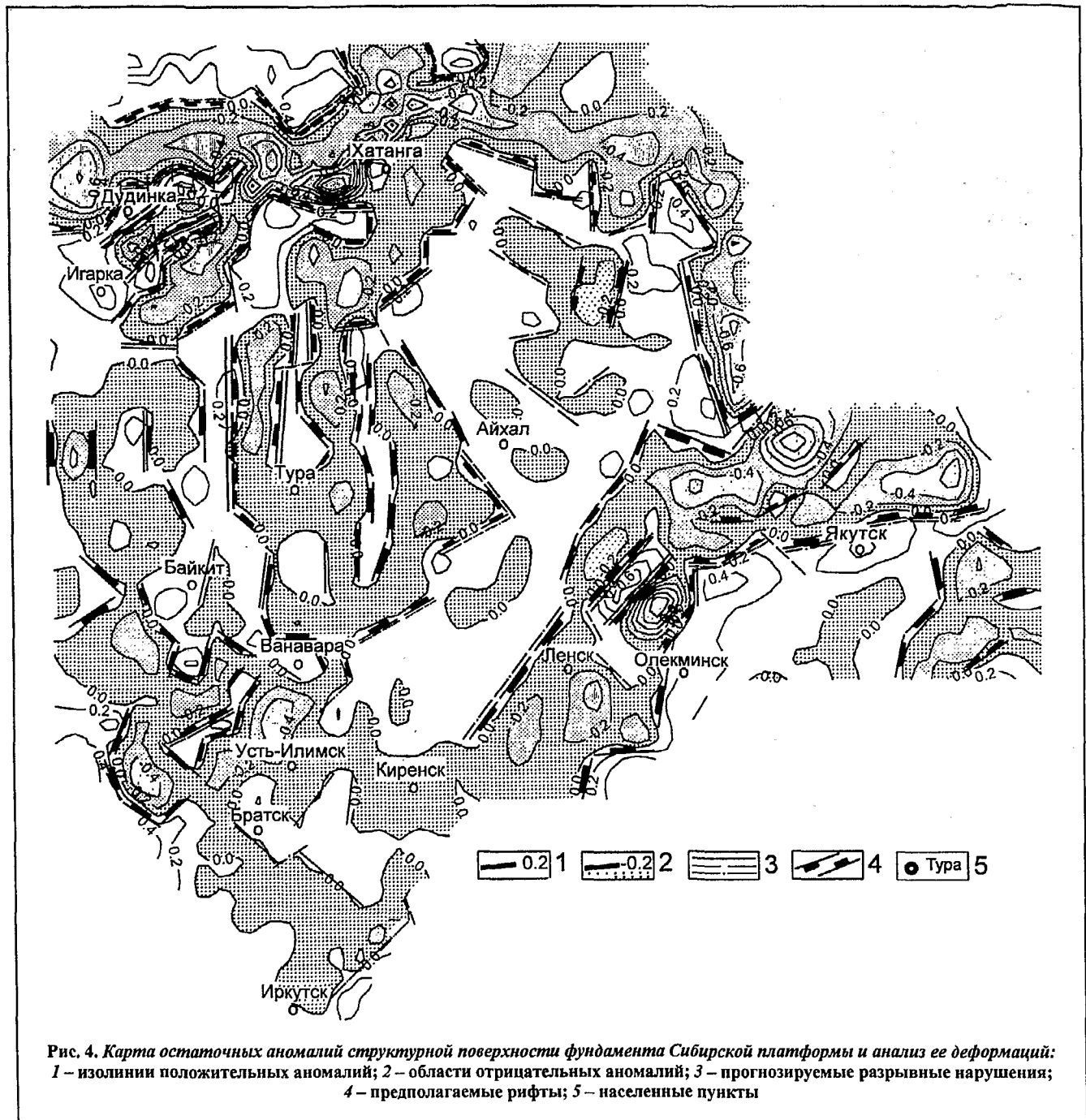


Рис. 4. Карта остаточных аномалий структурной поверхности фундамента Сибирской платформы и анализ ее деформаций: 1 – изолинии положительных аномалий; 2 – области отрицательных аномалий; 3 – прогнозируемые разрывные нарушения; 4 – предполагаемые рифты; 5 – населенные пункты

Благодаря этим построениям обнаруженные многочисленные рифтоподобные структуры – впадины являются распространенным тектоническим элементом фундамента Сибирской платформы.

На рис. 4 приведен пример карты, которая соответствует, в той или иной степени карте тектонического рельефа. Видно, что аномалии на карте остатков (положительные и отрицательные) носят не хаотический характер, а пространственно упорядочены. Крупные положительные аномалии совпадают с древними щитами, а отрицательные представляют собой узкие, линейно-вытянутые зоны, которые как бы окаймляют эти древние щиты. По вытянутости аномалий, сгущению их изогипс, смещению анома-

лий в плане и по резкому изменению их направлений выделена система нарушений в пределах Сибирской платформы.

Границы линейно-вытянутых отрицательных аномалий вдоль нулевых изолиний карты остатков позволили выделить три системы протяженных линий, сеть которых может быть связана с тектоническими разломами северо-западного, северо-восточного и субмеридионального направлений. Представляется, что наиболее древними разломами здесь являются нарушения северо-западного простирания. Их пересекают нарушения субмеридиональной вытянутости, которые смещены нарушениями северо-восточного направления.

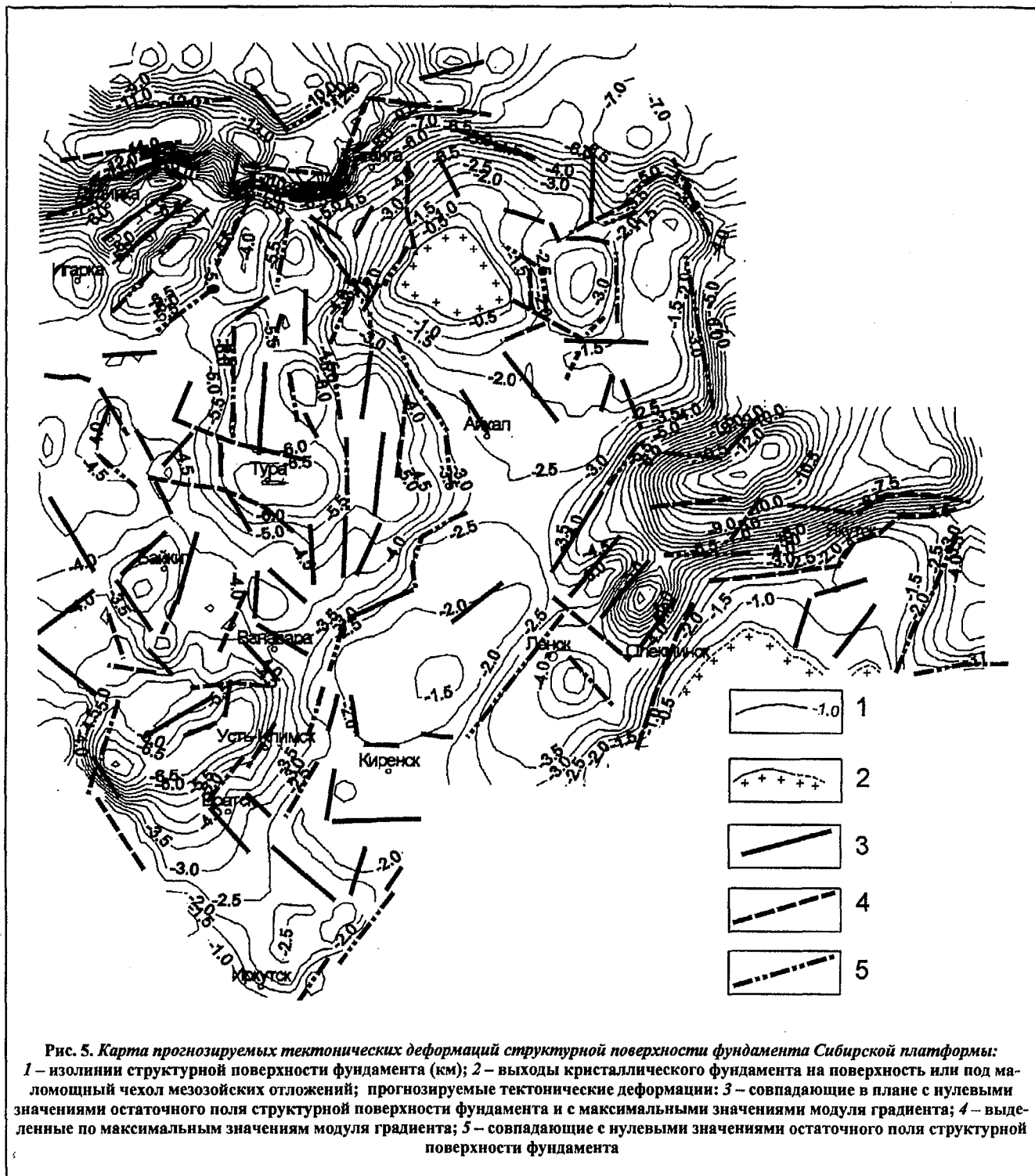


Рис. 5. Карта прогнозируемых тектонических деформаций структурной поверхности фундамента Сибирской платформы: 1 – изолинии структурной поверхности фундамента (км); 2 – выходы кристаллического фундамента на поверхность или под малоомощный чехол мезозойских отложений; прогнозируемые тектонические деформации: 3 – совпадающие в плане с нулевыми значениями остаточного поля структурной поверхности фундамента и с максимальными значениями модуля градиента; 4 – выделенные по максимальным значениям модуля градиента; 5 – совпадающие с нулевыми значениями остаточного поля структурной поверхности фундамента

Взаимосвязь систем различно ориентированных нарушений, по-видимому, и определила длительное преимущественное погружение локальных зон вдоль окаймления кристаллических щитов.

На рис. 4 зоны отрицательных линейно-вытянутых аномалий выделены в виде систем разнообразных прогибов, отождествляемых с рифтами. Отметим, что оконтуривание рифтов и выделение системы крупных разнонаправленных нарушений по картам остаточных аномалий могут дополнять

структурно-геодинамические построения в пределах Сибирской платформы.

По картам модуля градиентов ( $dZ = dX \cdot dY$ ) (см. рис. 3) с использованием карты остаточных аномалий структурной поверхности фундамента (см. рис. 4) построена результирующая карта (рис. 5) всех прогнозируемых дизъюнктивных деформаций в пределах Сибирской платформы.

Как видно из этих рисунков, прогнозируемые тектонические деформации (нарушения) структурной



поверхности кристаллического фундамента могут быть носителями дополнительной геологической информации. В этой связи, по-видимому, имеет смысл провести в данном регионе детальный анализ нарушений, трещиноватости, зон преимущественного опускания и инверсии движений, а также зон рифтогенеза и по другим структурным поверхностям в осадочном чехле с использованием тренд-анализа и анализа с построением карт модуля градиента. Сам анализ тектонических нарушений на базе компьютерного моделирования возможно реализовать на локальных площадях и месторождениях, используя не только структурные построения изучаемой поверхности, но и выполняя ее моделирование на ЭВМ по данным сейсморазведки и бурения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Берлянт А.М. *Образ пространства: карта и информация*. – М.: Мысль, 1986. – 240 с.

2. *Геология нефти и газа Сибирской платформы / Под ред. А.Э. Конторовича, В.С. Суркова, А.А. Трофимука*. – М.: Недра, 1981. – 542 с.  
 3. Ивашко С.В. *К вопросу картографического моделирования на ЭВМ рельефа кристаллического фундамента Сибирской платформы // Геология, геофизика и разработка нефтяных месторождений*. – 2001. – № 2. – С. 16–20.  
 4. Ивашко С.В. *Картографическое моделирование на ЭВМ и прогнозирование нефтегазоперспективных площадей в пределах Сибирской платформы // Прогноз, поиски, разведка и разработка месторождений нефти и газа*. – М.: ВНИГНИ, 2002. – 244 с.  
 5. *Мегакомплексы и глубинная структура земной коры нефтегазоносных провинций Сибирской платформы // Тр. / СибНИИГГиМС / Под ред. В.С. Суркова*. – М.: Недра, 1987. – 204 с.  
 6. *Региональная геология нефтегазоносных территорий СССР / Г.А. Габриэлянц, Г.Х. Дикенштейн, И.Н. Капустин и др.* – М.: Недра, 1991. – 283 с.  
 7. Хаин В.Е. *Тектоника континентов и океанов (год 2000)*. М.: Научный Мир, 2001. – 606 с.  
 8. Шейн В.С., Клецев К.А. *Новые теоретические предположения оценки перспектив нефтегазоносности*. – М.: ВНИИОЭНГ, 1984. – 59 с.

УДК 502.55:621.039.7

**ВОЗДЕЙСТВИЕ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ НА ИЗМЕНЕНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И СОСТАВА НАФТИДОВ В НЕДРАХ**

Н.Н. Кирюхина, В.А. Чахмахчев, Ю.С. Шахиджанов  
(РГУ им. И.М. Губкина)

Воздействие ядерных взрывов на изменение физико-химических свойств и состава нафтидов, газов и газоконденсатов прослежено на примере Гежского нефтяного месторождения, находящегося в Красновишерском районе Пермской области. Подземные ядерные взрывы на этом месторождении были осуществлены в нефтенасыщенных пластах франско-фаменско-турнейских отложений, в которых сосредоточены основные запасы. Все пять ядерных зарядов были размещены в сводовой части залежи, в середине мощного (322 м) карбонатного резервуара, в 110...170 м от водонефтяного контакта. Расстояние между технологическими скважинами, в которых были проведены ядерные взрывы, составляет от 1000 до 1500 м.

Подземные ядерные взрывы на Гежском месторождении, разработка которого осуществляется с июля 1983 г. на естественном режиме, были проведены в сентябре 1981 г. (технологическая скв. Г-1Т), в августе 1984 г. (скв. 402 и 403) и в апреле 1987 г. (скв. 404 и 405). Технологические скв. Г-1Т, 402 и 403 после

Рассмотрены результаты воздействия ядерных взрывов на изменение физико-химических свойств нефтей в франско-фаменско-турнейской и башкирской залежах нефти на Гежском нефтяном месторождении Пермской области.  
 The results of nuclear explosion action on physico-chemical properties of oil in fransco-famensco-turneysky and bashkirsky deposits of Gezhskoe field (Perm region) are regarded.

подрыва в них ядерных зарядов были восстановлены и освоены. Они имеют прямую связь с радиоактивными отходами ядерных взрывов и непрореагировавшим ядерным горючим (плутоний-239). Восстановить технологические скв. 404 и 405 по

техническим причинам не удалось. В связи с этим примерно в 50 м от технологической скв. 404 была пробурена прокольная скв. 407. Перед проведением ядерного взрыва в технологической скв. Г-1Т в 120 м от нее в 1981 г. была пробурена исследовательская скв. 155.

В настоящей работе рассмотрены изменения физико-химических свойств нефтей и попутных газов, получаемых из полостей ядерных взрывов и добывающих скважин после подрыва ядерных зарядов на месторождении. Исследования показали, что основные изменения нефтей, прошедших через полости ядерных взрывов, связаны с воздействием на них высокой температуры, которая долгое время сохраняется в этой зоне. Об этом свидетельствуют многочисленные исследования температурного поля, проведенные