

НЕФТЯНОЕ ХОЗЯЙСТВО

Neftyanoe Khozyaystvo

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

ОСНОВАН В 1920 ГОДУ • ВЫПУСК 1106

НОЯБРЬ

11'2015



РОСНЕФТЬ

ОАО «НК «РОСНЕФТЬ»:

технологическое развитие – основа роста конкурентоспособности компании



МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ



РОСНЕФТЬ

ЗАРУБЕЖНЕФТЬ

TATNEFT

УЧРЕДИТЕЛИ
ЖУРНАЛА

БАШНЕФТЬ
АКЦИОНЕРНАЯ НЕФТНАЯ КОМПАНИЯ

ОАО «РМНТК
«Нефтеотдача»

НТО НГ им. акад.
И.М. Губкина

УЧАСТНИКИ
ИЗДАНИЯ ЖУРНАЛА

СНГ
ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ
«СРТУНЕФТЕГАЗ»

ГАЗПРОМ
ООО «ГАЗПРОМНЕФТЬ НТЦ»



Применение методов компьютерной обработки цифровой модели рельефа для обнаружения зон повышенной трещиноватости и флюидодинамической активности пород осадочного чехла¹

И.Ю. Чернова, К.Г.-М.Н.,

И.И. Нугманов, К.Г.-М.Н.,

Д.К. Нурғалиев, Д.Г.-М.Н.,

Д.И. Хасанов, К.Г.-М.Н.,

З.М. Слепак, Д.Г.-М.Н.,

К.М. Каримов, Д.Г.-М.Н.

(Казанский (Приволжский)
федеральный университет)

Адрес для связи: inna.chernova@kpfu.ru

Ключевые слова: геодинамика, морфометрический метод, линейментный анализ, цифровая модель рельефа (ЦМР)

Примеры и методы преобразования цифровых моделей рельефа (ЦМР) для получения информации о геодинамическом состоянии недр хорошо известны и использовались до появления компьютеров [1, 2]. В отечественной нефтяной геологии десятки лет применялись методы морфометрического анализа ЦМР с целью поиска нефтеперспективных структур, а также линейментный анализ как универсальный метод изучения трещиноватости массивов горных пород. В настоящее время новые способы построения и обработки ЦМР (данные дистанционного зондирования Земли, высокоточная геодезия, лазерное сканирование, фотограмметрия, геоинформационные системы) позволяют получать намного больше информации, чем при ручной обработке картографического материала [3]. В данной статье приведены методика и результаты компьютерной обработки ЦМР разных масштабов небольшого лицензионного участка, которые вместе с данными о нефтеносности участка, результатами геохимического опробования и высокоточной гравиразведки позволили выявить зоны повышенной трещиноватости и динамической активности пород осадочного чехла.

Методика и объект исследования

Объектом исследования являлась территория Аканского месторождения нефти (площадь исследования составляла 147 км²), расположенного на юге Республики Татарстан. Разрывные нарушения в пределах Аканского участка образуют перекрещивающуюся систему, обуславливающую расчленение кристаллического фундамента на ряд блоков, последующие тектонические движения которых опреде-

DEM digital processing as applied to detection of zones of excessive fracturing and fluid dynamic activity in sedimentary cover

I.Yu. Chernova, I.I. Nugmanov, D.K. Nourgaliev, D.I. Khasanov, Z.M. Slepak, K.M. Karimov
(Kazan (Volga Region) Federal University, RF, Kazan)

E-mail: inna.chernova@kpfu.ru

Key words: geodynamics, morphometric analysis, lineament analysis, DEM

This article describes methods and results of DEM digital processing conducted for the territory of a small oilfield. The study aims to obtain information on rock mass natural fracturing and fluid dynamics. Although only one particular case is described here, the proposed technique is universal and can be applied to any flat area with developed erosional system (within the platforms). DEM digital processing results in conjunction with oil content data, geochemical sampling and high-precision gravimetry were used to discover zones of excessive fracturing and fluid dynamic activity in sedimentary cover. Also, block model of the oilfield was constructed, and reconstruction of geodynamic processes in the active microblocks junction zones was carried out.

ляют структурную обособленность локальных поднятий осадочного чехла. Выделенные тектонические элементы в общих чертах прослеживаются и в вышележащих палеозойских отложениях. Месторождение по характеру геологического строения и фильтрационно-емкостным свойствам пород очень сложное. Промышленно нефтеносными являются карбонатные отложения среднего и нижнего карбона. Выше по разрезу обнаружена залежь битума. Для увеличения отборов нефти в ближайшем будущем планируется проведение гидроразрыва пласта (ГРП). В связи с этим главными задачами исследования были выявление зон повышенной трещиноватости и динамической активности пород осадочного чехла, тектонических разломов, оценка современной геодинамической активности.

Основными методами исследования служили линейментный и морфометрический анализы ЦМР. Реализация этих методов отличается от традиционных способов обработки ЦМР использованием специализированной программы выделения и статистической обработки линейментов LESSA (Россия) [4] и геоинформационной системы ArcGIS 10 (США) [5]. Первичным материалом для расчета карт линейментов различной выраженности и карт плотности линейментов являлась ЦМР исследуемой территории масштаба 1:50000. Морфометрический анализ по усовершенствованной методике В.П. Философова [3] был выполнен для ЦМР масштаба 1:50000 (детальные исследования) и масштаба 1:200000 (для учета регионального фона).

Связь высот рельефа, форм и развития эрозионных сетей со структурами и движениями земной коры исследовалась многими учеными [1, 2, 6–9]. Итогом многолетних

¹Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (проект № 02.G25.31.0029).

работ является ряд выводов, которые в настоящее время приняты специалистами как базовые научные положения. В данном исследовании они служат основой всех методических приемов.

1. Эрозионные процессы обычно развиваются избирательно по наиболее ослабленным, легко размываемым участкам горных пород, к которым можно отнести зоны тектонического дробления, трещины растяжения и др. Речные долины малых порядков, а также различного вида суходолы, в том числе овраги, обычно приурочены к зонам наиболее интенсивной трещиноватости. При этом водораздельные пространства относятся к участкам, где породы меньше подвергались дроблению.

2. Долины закладываются по трещинам, но далеко не все трещины, сбросы, разломы и другие виды линейных тектонических нарушений дают начало долинам. Согласно работам [8–10] реки используют только те разломы, по которым происходят подвижки, возникшие в неоген-четвертичное время.

3. По активным тектоническим трещинам наблюдается постоянная циркуляция подземных вод, что способствует появлению долин. Реки возникают только там, где происходит естественная разгрузка подземных вод и имеются линейно вытянутые понижения в рельефе. Очень часто современная речная сеть наследует более древнюю, что, очевидно, связано с установлением режима подземных вод в соответствии с расположением тектонических структур. В этих условиях реки получают устойчивое подземное и поверхностное питание [2].

Вышеизложенное позволяет утверждать, что современная речная (долинная) сеть является отображением сети неотектонических нарушений, формирующих современный рельеф. Следовательно, линейные элементы речной сети можно рассматривать как линейные элементы сети разрывных нарушений. Сеть последних в свою очередь ограничивает более стабильные участки земной коры – блоки и микроблоки. Очевидно, что долины высоких порядков ограничивают более крупные неотектонические структуры (блоки), долины средних и меньших порядков – более мелкие (микроблоки). Согласно этому принципу на территории исследования было установлено блоковое строение земной коры.

Расчеты поля штрихов и всех производных полей (линеаментов, роз и плотности) выполнялись по методике А.А. Златопольского в программе LESSA [11]. Для определения штрихов в ЦМР выявляются спрямленные участки хребтов и долин. Для каждой точки штриха находится его направление с точностью до 22,5°, т.е. одно из следующих восьми направлений: 0; 22,5; 45; 67,5; 90; 112,5; 135; 157,5°. Уверенно выявляются только те штрихи, размер которых не меньше 5–10 пикселей (рис. 1, а).

Следующий этап анализа штрихов – формирование на их основе прямых протяженных линеаментов. Здесь же можно установить фильтр, отбирающий линеаменты по степени их выра-

женности. На рис. 1, а показаны наиболее выраженные, т.е. подчеркнутые наибольшим числом штрихов, линеаменты. Использование ЦМР крупного масштаба позволило выявить детальные особенности распределения линеаментов: было установлено, что поверхность земной коры составлена из элементарных блоков с одним преимущественным направлением трещин. Ориентация трещиноватости элементарных блоков определялась по локальным розам-диаграммам (см. рис. 1, б). Локальные розы строились по исходному полю штрихов в скользящем окне размером 64×64. Затем для каждой локальной розы рассчитывался вектор ее максимальной вытянутости, показывающий преобладающее направление трещин в пределах окна обработки. Этот же вектор является направлением максимальной плотности линеаментов (см. рис. 1, б).

Кроме расчета линеаментов и их направлений, карта первичных штрихов использовалась для расчета макротрещиноватости осадочного чехла (рис. 2). Значение (увеличено в 10000 раз) каждой ячейки раstra плотности штрихов показывает отношение суммарной длины всех штрихов к площади некоторой окрестности данной ячейки. Окрестность представляет собой круг радиусом 500 м, размер ячейки раstra 50×50 м. Плотность штрихов являет-

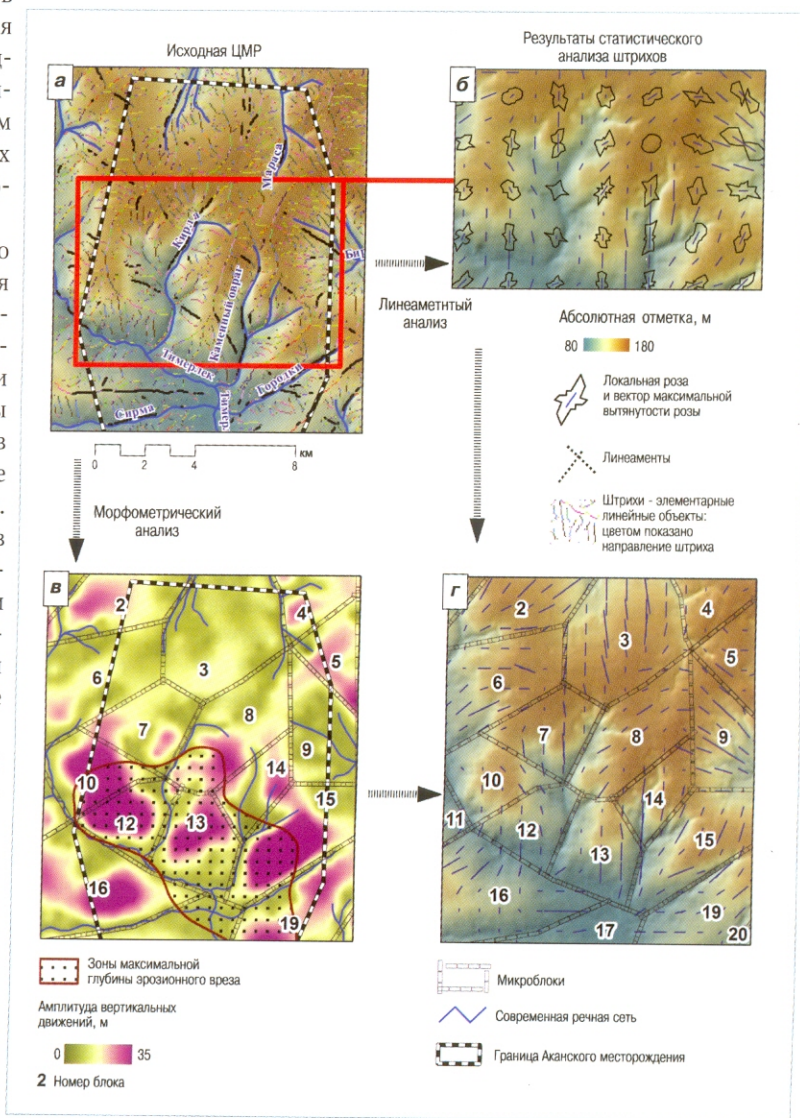


Рис. 1. Результаты морфометрического и линеamentного анализа: а – исходная ЦМР масштаба 1:50000; б – фрагмент изображения поля локальных роз и векторов максимальной вытянутости розы; в – разность базисной поверхности первого и второго порядков; г – фрагмент блокового строения участка исследования

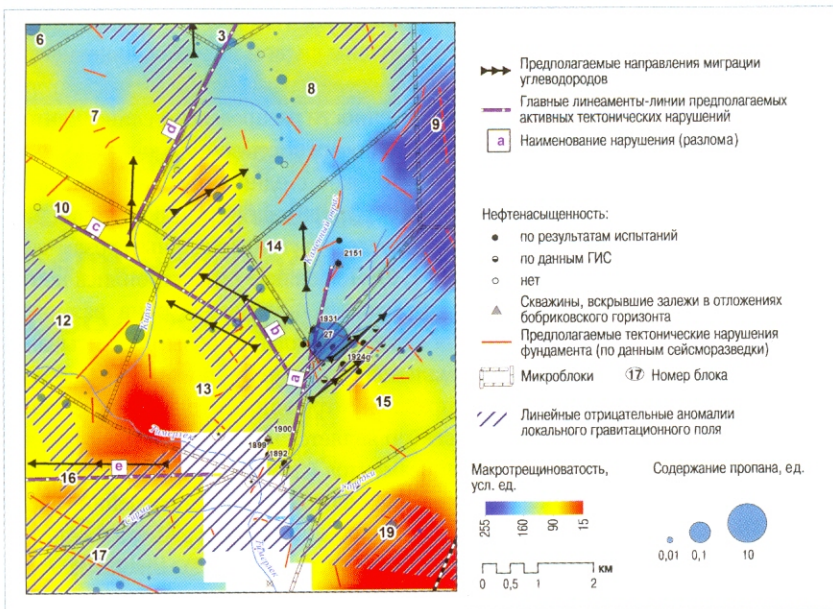


Рис. 2. Реконструкция геодинамических процессов в зоне сочленения микроблоков и карта макротрещиноватости пород осадочного чехла

ся аналогом традиционных карт горизонтальной расчлененности рельефа.

Границы микроблоков были очерчены по осевым линиям эрозионных форм (линиям тальвегов) с учетом векторов максимальной вытянутости локальных роз таким образом, чтобы ориентация локальной трещиноватости в пределах каждого микроблока была преимущественно однонаправленной (см. рис. 1, б, г). Векторы преобладающих направлений трещин имеют характерное распределение: наблюдаются области как группирования однонаправленных векторов, так и с хаотичным распределением трещин. Это указывает на существование в строении земной коры микроблоков, находящихся в различных геодинамических условиях. При обрисовке границ микроблоков также учитывались линии наиболее выраженных линеаментов, представленные на рис. 1, а.

Для оценки интенсивности и направления движения каждого блока в неоген-четвертичное время использовался метод морфометрического анализа неотектонических структур, разработанный В.П. Философовым для платформенных областей. Усовершенствованная авторами методика исключает ручные построения и использует инструментальный геоинформационной системы ArcGIS [3]. Для территории месторождения были построены базисные поверхности с шестого по первый порядки, демонстрирующие стадии развития рельефа, а также разности базисных поверхностей, которые отображают динамику развития рельефа за четвертичный период. Разности базисных поверхностей показывают алгебраическую сумму вертикальных движений земной коры и эрозии за определенные промежутки времени: первого и второго, второго и третьего порядков – интервалы времени между самыми поздними этапами неотектонической активности; третьего и четвертого, а также четвертого и более высоких порядков – интервалы времени между более ранними этапами неотектонической активности. Положительные разности свидетельствуют о поднятиях земной коры в определенный этап тектонического развития. В работах [12, 13] показано, что возраст базисной поверхности первого порядка можно принять приблизительно 10^2 лет, второго порядка как позднплейсто-

ценовый (около 10^4 лет). Время образования базисных поверхностей от третьего до шестого порядка соответствует интервалу времени от позднчетвертичного до раннечетвертичного.

Полный анализ базисных поверхностей и их разностей показал, что на всех этапах неотектонического периода, за исключением последнего, северная часть территории Аканского месторождения испытывала преимущественно положительные вертикальные движения, южная часть находилась в зоне относительного тектонического спокойствия. В позднеголоценовое время тектонические условия изменились: южная часть территории стала активной, северная – тектонически спокойной (см. рис. 1, в). Последние обстоятельства определяют современные геодинамические условия, которые распространены на участке исследования. В работах [12, 13] показано, что разность базисных поверх-

ностей первого и второго порядков достаточно достоверно отражает современные геодинамические условия на исследуемых территориях. Высокой геодинамической активностью охвачены водораздельные области р. Тимерлек, Каменный овраг, Кирла, Городки. Наиболее интенсивные эрозионные процессы наблюдаются в междуречье Тимерлека и Кирлы, а также в области слияния р. Тимерлек, Каменный овраг, Сирма, Городки. Для данной области характерна максимальная глубина эрозионного вреза (см. рис. 1, в), рассчитанная как разность вершинной и базисной поверхностей первого порядка [2, 3]), а новейшие тектонические структуры вынуждают русла р. Кирла и Каменный овраг огибать поднимающиеся блоки земной коры.

Результаты морфометрического и линеаментного анализов были сопоставлены с данными геохимических и гравиметрических исследований. Полевые гравиметрические работы проводились на площади $146,4 \text{ км}^2$ и включали съемку по сетям 1000×1000 и 200×200 м для корректного учета регионального фона и выделения локальных составляющих силы тяжести. Работы проводились гравиметрами Scintrex CG-5 производства Канады. Геохимические пробы коренных пород отбирались с применением мотобура с глубины не менее 60 см. Всего было отобрано 97 образцов преимущественно вдоль границ микроблоков, выявленных по результатам компьютерной обработки ЦМР. Обработка и интерпретация полевых данных включали: 1) введение поправок в наблюдаемые значения, обнаружение и устранение техногенных помех; 2) выделение и построение карты локальной составляющей наблюдаемого поля; 3) количественную интерпретацию гравиметрических данных, построение петроплотностной модели. Петроплотностная модель была получена с использованием вейвлет-функций [14] и представляла собой серию срезов кубов вейвлет-преобразования на глубине 200–3000 м. Каждый срез показывает распределение источников аномальных значений плотности на данной глубине. Кроме того, на территории Аканского месторождения ранее выполнялись полевые сейсморазведочные работы, по результатам которых были выявлены зоны тектонических нарушений пород осадочного чехла (см. рис. 2).

Результаты геодинамических исследований

С точки зрения современной геодинамики интересна связка блоков 13, 14, 15, точнее их совместная пограничная зона (см. рис. 1, 2). Ряд признаков указывает на то, что эта зона весьма активна на современном этапе. По активным тектоническим трещинам наблюдается постоянная циркуляция подземных вод, что способствует возникновению долин рек на земной поверхности. Приведенные на рис. 2 линии главных линеаментов (линеаментов наивысшего порядка для данного участка исследования) авторы ассоциируют с активными трещинными зонами (разломами). Активные геодинамические процессы в области, представленной на рис. 2, характеризуются следующим.

1. Ориентация линий дизъюнктивных нарушений, выявленных в породах кристаллического фундамента и в отложениях девона (по результатам сейсморазведочных работ), в плане близка к ориентации линий главных линеаментов, выявленных по результатам линеаментного анализа ЦМР (разлом а). По результатам линеаментного анализа здесь также прослеживаются зона высокой трещиноватости осадочного чехла (см. рис. 2) и линейная зона скопления отрицательных источников гравитационного поля, обнаруженных на всех срезах петроплотностной модели, что можно интерпретировать как сквозные трещинные зоны (разломы) от фундамента до верхних стратиграфических горизонтов. Отмеченное свидетельствует о наличии сквозной разломной (трещинной) зоны, пересекающей фундамент и весь осадочный чехол.

2. Данные морфометрического анализа показывают высокую интенсивность эрозионных процессов на земной поверхности, что является общепринятым признаком высокой геодинамической активности данного участка земной коры. Интенсивность процессов эрозии прямо пропорциональна разности геопотенциалов [2]. Максимальная разность геопотенциалов наблюдается на границах между поднимающимися и опускающимися блоками земной коры. Выделенные трещинные (разломные) зоны (а, б, с, d, е) обрамляют неотектоническое поднятие, активный рост которого зафиксирован на разности базисной поверхности второго и третьего, первого и второго порядков. Очевидно, что данные трещинные (разломные) зоны непосредственно повлияли на формирование русел р. Каменный овраг и Кирла, которые имеют резкие изгибы (до 90°).

3. Наиболее интенсивный поток флюидов, содержащих углеводороды, можно предположить в узловой зоне – области сочленения предполагаемых активных разломов а, б, с (см. рис. 2). В этой области пересекаются линейные зоны скопления отрицательных источников гравитационного поля. Признаком активного переноса вещества в узловой зоне является проба почвы с аномально высоким содержанием пропана (по результатам профильного геохимического опробования), в которой содержание пропана составляет 6,8 ед. при среднем по участку 0,34 ед.

4. По данным глубокого бурения в породах нижнего карбона обнаружены три залежи нефти в отложениях бобринского горизонта, три – тульского горизонта, одна – турнейского яруса. Все залежи находятся в непосредственной близости от разлома а. Однако результаты бурения глубоких скважин на других участках свидетельствуют об отсутствии нефтенасыщенных пластов в отложениях нижнего карбона, в то время как залежи нефти в отложениях сред-

него карбона распространены практически по всей территории месторождения.

Исследования последних лет показывают, что миграция флюидов по латерали на многие километры маловероятна, более реальна миграция флюидов по вертикали [15]. Наличие залежи битума, контролируемой Аканской структурой, свидетельствует об интенсивной вертикальной миграции в течение довольно длительного геологического времени в блоках и межблоковом пространстве, вмещающих указанную структуру. Данные геохимического опробования дают основания полагать, что интенсивные процессы миграции происходят и в настоящее время. Это может означать, что новые порции углеводородов коллекторы среднего карбона получают не только за счет перетока флюидов из отложений нижнего карбона, но и из других источников, из тех же, что подпитывают и отложения нижнего карбона. В этом плане интересна скв. 2151, расположенная на центральном куполе Аканского поднятия. Скважина, как и сам купол, находится в зоне чрезвычайно высокой трещиноватости осадочного чехла. Без регулярной подпитки залежи к настоящему времени должны были быть разрушены. Однако, скв. 2151 вскрыла нефтенасыщенные пласты не только в среднем, но и в нижнем карбоне.

Поскольку разломные (трещиноватые) зоны являются активными на современном этапе развития земной коры, в настоящее время они играют двойную роль: во-первых, могут быть транзитными путями миграции углеводородсодержащих флюидов; во-вторых, интенсивно разрушать существующие залежи. Оценка характера и интенсивности протекающих процессов разрушения может быть выполнена по результатам одновременных наблюдений за дебитом скважин, составом глубинной нефти и его изменениями.

Залежи, которые расположены в зоне высокой геодинамической активности, в настоящее время подвергаются интенсивным процессам разрушения: их сохранность может быть обеспечена только за счет подпитки. Очевидно, что разломные зоны с, d, е также способствовали миграции углеводородов в основную фазу нефтеобразования как по латерали, так и снизу вверх по разрезу, особенно разлом б, вблизи которого расположены большие залежи среднего карбона. Влияние разломных зон с, d, е оценить сложно из-за отсутствия данных.

Полагая, что основными проводниками углеводородов являются активные разломы, а также используя информацию о преобладающем направлении трещин внутри каждого блока (по данным линеаментного анализа), можно предположить, что латеральная миграция углеводородов в пределах Аканского месторождения происходит с юга на север. На рис. 2 показаны предполагаемые направления потоков флюидов с учетом расположения активных трещинных зон, а также ориентации трещин микроблоков.

Вышеперечисленные факты указывают на то, что в южной части территории месторождения в настоящее время протекают интенсивные геодинамические процессы. В области сочленения блоков 13, 14, 15 земная кора раздроблена в наибольшей степени, имеет максимальную трещиноватость и отмечается наиболее интенсивными движениями флюидов. Все эти сведения должны быть учтены в моделях месторождения и при планировании ГРП.

Интересно отметить, что при выполнении данного исследования из одной ЦМР (масштаба 1:50000) было по-

лучено 10 видов производных поверхностей и векторных данных:

- 1) карта порядков долин и водоразделов;
- 2) базисные поверхности с первого по шестой порядок;
- 3) вершинная поверхность первого порядка;
- 4) разности базисных поверхностей смежных порядков;
- 5) глубина эрозийного вреза;
- 6) поле штрихов;
- 7) поле локальных роз трещиноватости;
- 8) поле главных векторов локальных роз трещиноватости;
- 9) главные линеаменты;
- 10) плотность линеаментов (плотность первичных штрихов).

Комплексный анализ морфометрических поверхностей дает информацию об амплитудах вертикальных движений за разные интервалы неотектонической истории, позволяет ранжировать территорию по степени современной геодинамической активности. Результаты линеаментного анализа дают возможность построить карты обобщенной макроскопической проницаемости пород осадочного чехла, розы глобальной и локальной трещиноватости изучаемого массива пород. Линеаментный анализ может быть выполнен по цифровым моделям не только земного рельефа, но и структурных поверхностей осадочного чехла, что дает дополнительную важную информацию о макротрещиноватости пород осадочного чехла. Совместное использование результатов морфометрического и линеаментного анализов позволяет с большей уверенностью проводить границы блоков, а поскольку морфометрический анализ дает знак и оценку амплитуды вертикальных смещений земной поверхности, для каждого выделенного блока можно проследить динамику его движений за неоген-четвертичный период. Наконец, зная направление макротрещин, знак и интенсивность вертикальных смещений блоков, можно определять вероятные направления миграции флюидов и места скопления углеводородов.

Эти выводы не могут быть сделаны только по результатам компьютерной обработки ЦМР. Для получения значимых результатов необходимы комплексные исследования с использованием дополнительных геологических и геофизических методов. Однако обработка ЦМР может и должна использоваться как рекогносцировочный метод и один из основных при любых геодинамических исследованиях. Кроме того, представленная методика универсальна и применима на любых месторождениях углеводородов в пределах платформ.

Список литературы

1. Ласточкин А.Н. Морфодинамический анализ. – Л.: Недра, 1987. – 256 с.
2. Философов В.П. Основы морфометрического метода поисков тектонических структур. – Саратов: изд-во Саратовского университета, 1975. – 232 с.
3. Чернова И.Ю., Нугманов И.И., Даутов А.Н. Применение аналитических функций ГИС для усовершенствования и развития структурно-морфологических методов изучения неотектоники//Геоинформатика. – 2010. – № 4. – С. 9–23.
4. Zlatopolsky A.A. Program LESSA (Lineament Extraction and Stripe Statistical Analysis) automated linear image features analysis – experimental results//Computers & Geoscience. – 1992. – Vol. 18. – № 9. – P. 1121–1126.
5. МакКой Д., Джонстон К. ArcGIS Spatial Analyst. Руководство пользователя. – М.: изд-во Дата+. 2002. – 214 с.
6. Дедков А.П. К генезису ступенчатого рельефа Заволжья//Известия Всесоюзного географического общества. – 1960. – Т. 92. – Вып. 2. – С. 71–77.

7. Древние поверхности выравнивания и останцовый рельеф Удмуртии. В сб. «Развитие склонов и выравнивание рельефа». – Казань: изд-во Казанского университета, 1974. – С. 64–76 (в соавторстве с О.Н. Малышевой, С.Р. Порманом, А.П. Рождественским).
8. Хаин В.Е., Ломидзе М.Г. О молодых подвижках по древним разломам на Западном Кавказе и их влиянии на гидрографическую сеть//Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. – 1959. – № 8. – С. 17–21.
9. Кинг Ф.Б. Геологическое развитие Северной Америки. – М.: Иностранная литература, 1961. – 300 с.
10. Рождественский А.П. К вопросу о природе асимметрии склонов речных долин северо-западной части Башкирии. В сб. Вопросы геоморфологии и геологии Башкирии. – 1957. – Вып. 1. – С. 5–16.
11. Златопольский А.А. Новые возможности технологии LESSA и анализ цифровой модели рельефа. Методический аспект//Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2011. – Т. 8. – № 3. – С. 38–46.
12. Мониторинг рельефообразующих процессов с применением фотограмметрии и ГИС/И.Ю. Чернова, И.И. Нугманов, А.Н. Даутов, П.С. Крылов//Известия Самарского Национального центра РАН. – 2010. – Т. 12 (33). – № 1 (4). – С. 1170–1176.
13. О связи неотектоники и современной геодинамики/И.Ю. Чернова, И.И. Нугманов, О.В. Лулева, А.Н. Даутов//Ученые записки Казанского университета. Сер. Естественные науки. – 2011. – Т. 153. – Кн. 3. – С. 1–15.
14. Утемов Э.В., Нургалиев Д.К. «Естественные» вейвлет-преобразования гравиметрических данных: теория и приложения//Физика Земли. – 2005. – № 4. – С. 88–96.
15. Научные основы современной технологии прогнозирования нефтегазоносности территорий/Д.К. Нургалиев, Д.И. Хасанов, И.Ю. Чернова (и др.)//Ученые записки Казанского университета. Сер. Естественные науки. – 2009. – Т. 151. – Кн. 4. – С. 192–202.

References

1. Lastochkin A.N., *Morphodynamicheskiy analiz* (Morphodynamic analysis), Leningrad: Nedra Publ., 1987, 256 p.
2. Filosofov V.P., *Osnovy morfometricheskogo metoda poiskov tektonicheskikh struktur* (Basics of morphometric method of searches the tectonic structures), Saratov: Publ. of Saratov University, 1975, 232 p.
3. Chernova I.Yu., Nugmanov I.I., Dautov A.N., *Application of GIS analytic functions for improvement and development of the structural morphological methods of the neotectonics studies* (In Russ.), *Geoinformatika*, 2010, no. 4, pp. 9–23.
4. Zlatopolsky A.A., *Program LESSA (Lineament Extraction and Stripe Statistical Analysis) automated linear image features analysis - experimental results*, *Computers & Geoscience*, 1992, V. 18, no. 9, pp. 1121–1126.
5. McCoy J., Johnston K., MakKoy D., Dzhonston K., *Using ArcGIS Spatial Analyst*, ESRI Press, 2001, 240 p.
6. Dedkov A.P., *The genesis of a stepped relief of trans-Volga region (Zavolzh'e)* (In Russ.) *Izvestiya Vsesoyuznogo Geograficheskogo obshchestva*, 1960, V. 92, no. 2, pp. 71–77.
7. Malysheva O.N., Porman S.R. et al., *Drevnie poverkhnosti vyravnivaniya i ostantsovyi relief Udmurtii* (The ancient planation surfaces and relict relief of Udmurtia), *Collected papers "Rozvitiye sklonov i vyravnivaniye reliefa"* (The development of slopes and atiplanation), Kazan': Publ. of Kazan University, 1974, pp. 64–76.
8. Khain V.E., Lomidze M.G., *About young motions on ancient faults in the western Caucasus and its impact on drainage network* (In Russ.), *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy, Geologiya i razvedka*, 1959, no. 8, pp. 17–21.
9. King P.B., *The evolution of North America*, Princeton, N.J., Princeton University Press, 1959, 300 p.
10. Rozhdestvenskiy A.P., *K voprosu o prirode asimmetrii sklonov rechnykh dolin severo-zapadnoy chasti Bashkirii* (The nature of the asymmetry of the slopes of river valleys in north-western part of Bashkiria), *Collected papers "Voprosy geomorfologii i geologii Bashkirii"* (Questions to geomorphology and geology of Bashkortostan), 1957, V. 1, pp. 5–16.
11. Zlatopolskiy A.A., *New LESSA technology resources and digital terrain map analysis. Methodology* (In Russ.), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2011, V. 8, no. 3, pp. 38–46.
12. Chernova I.Yu., Nugmanov I.I., Dautov A.N., Krylov P.S., *Monitoring the relief-forming processes using photogrammetry and GIS* (In Russ.), *Izvestiya Samarskogo Natsional'nogo tsentra RAN*, 2010, V. 12(33), no. 1(4), pp. 1170–1176.
13. Chernova I.Yu., Nugmanov I.I., Luneva O.V., Dautov A.N., *On the connection neotectonics and modern geodynamics* (In Russ.), *Uchenye zapiski Kazanskogo universiteta. Seriya Estestvennye nauki*, 2011, V. 153, no. 3, pp. 197–211.
14. Utemov E.V., Nurgaliev D.K., *Natural wavelet transformations of gravity data: Theory and applications* (In Russ.), *Fizika Zemli = Izvestiya. Physics of the Solid Earth*, 2005, no. 4, pp. 88–96.
15. Nurgaliev D.K., Khasanov D.I., Chernova I.Yu. et al., *Scientific basis of modern technology of forecasting of areas oil and gas potential* (In Russ.), *Uchenye zapiski Kazanskogo universiteta. Seriya Estestvennye nauki*, 2009, V. 151, no. 4, pp. 192–202.