

ПРОГНОЗ ЗОН ТРЕЩИНОВАТОСТИ ПО ПРОМЫСЛОВО-ГЕОФИЗИЧЕСКИМ ДАННЫМ (НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАДИОАКТИВНОГО КАРОТАЖА)

Выделение зон развития трещиноватости в осадочном чехле имеет существенное значение при моделировании условий формирования месторождений нефти и газа, составлении проектов их разработки и т.д. Для этих целей используется ряд специальных геофизических исследований, включающих широкополосную акустику, методы сейсмолокации бокового обзора, меченых атомов и т.п. В условиях разрабатываемых месторождений вопросы прогноза областей развития трещиноватости, их простирания и глубины распространения могут решаться на основе анализа площадных вариаций величины радиоактивности пород, определяемых по каротажным данным.

Многолетнее изучение радиоактивности пород различного литологического состава и возраста в пределах ряда осадочных бассейнов показало, что наряду с общими закономерностями в распределения урана, тория и калия, связанными с палеографическими условиями осадконакопления, наблюдаются локальные вариации в изменчивости гамма-поля в хорошо выдержанных на площади отложениях с близким петрохимическим составом. Данные вариации определяются дифференциацией осадков в процессе седиментации, зависящей от рельефа поверхности дна, в результате чего на приподнятых участках (структурах конседиментационного формирования) отлагается крупнозернистый материал, а в прогибах – более тонкий. Подобное перераспределение обеспечивает пониженную радиоактивность пород свода структур и формирует положительные «аномалии» на их склонах, природа которых обусловлена распределением всех 3-х элементов и, в первую очередь, тория и калия. Вариации в величине радиоактивности составляют, как правило, 3-4 γ и определяются интенсивностью тектонических движений в периоды осадконакопления [1].

Кроме того, в геологических разрезах практически всех изученных нефтегазоносных провинций выделяются отдельные интервалы разреза, в которых дифференциация гамма-поля как в региональном плане, так и в пределах отдельных локальных поднятий достигает 10-15 γ , закономерно прослеживается на площади, не зависит от литологии отложений, возраста и глубины их залегания. Для таких областей аномальных значений характерна четкая унаследованность проявления в геологическом разрезе и тесная связь с разломно-блоковым строением кристаллического фундамента.

Размеры и структура блоков определяют и различные формы радиометрических аномалий. В большинстве случаев они оконтуривают локальные поднятия, образуя узкие кольца, в плане совпадающие с положением разрывных нарушений. При небольших

размерах структур ореолы «сливаются» в единую область высоких значений. Если выступ фундамента осложнен серией мелких блоков, то, наряду с кольцевым эффектом, проявляются дополнительные зоны высокой радиоактивности, отвечающие положению дизъюнктивов более низкого ранга и различного простирания [2, 3].

Рассмотрим выявленные закономерности на примере Миннибаевской и Абдрахмановской площадей Ромашкинского нефтяного месторождения Волго-Уральской провинции.

По материалам анализа большого количества диаграмм РК в пределах данных площадей построена серия карт распределения гамма-поля отдельных интервалов разреза девона и карбона, характеризующихся повышенными значениями на кривых ГК. Построение осуществлялось средствами ввода цифровой информации величин радиоактивности в скважинах для каждого горизонта с дальнейшей интерполяцией их к равномерной сети. При выборе шага сети учитывалась плотность распределения значений анализируемых параметров на исследуемой площади, составивший 20 x 20 м.

Общим для всех рассматриваемых карт Миннибаевской площади является: значительная дифференцированность гамма-поля, наиболее значимо выраженная в отложениях доманика и карбонатных породах серпуховско-окского горизонта; наличие, наряду с кольцевой аномалией, областей повышенных значений естественной радиоактивности пород различного простирания. В центральной части площади выделяется наиболее крупная из них, северо-восточного направления. Она, в свою очередь, дискретна и подразделяется на несколько зон, имеющих как линейную, так и изометрическую формы. Отмеченная структура поля наблюдается во всем исследованном геологическом разрезе, независимо от литологического состава пород, что выявляется при визуальном рассмотрении карт (рис. 1а, б, в), подтверждается результатами корреляции между соседними пластами (кыновским, семилукско-бурегским, воронежским и т.д.).

Пространственный анализ данных и вероятностная объемная модель, полученная средствами программного комплекса геостатистического моделирования (автор Мальцев В.А.), так же отчетливо показали унаследованность аномальных проявлений радиоактивности по всей исследуемой глубине (от кыновского до окского горизонта) (рис. 2). Исходными данными явилась пространственная бинарно-логическая модель радиоактивности горизонтов, которая представляет собой для каждой пробы (значения измеренной радиоактивности в скважине на конкретном горизонте) набор пространственных координат X, Y, Z и 1 или 0 – признак принадлежности данной пробы к аномалии. Исследована пространственная изменчивость этих данных и на основе полученных вариограмм применением интерполяционных алгоритмов построена блочная

количественная объемная модель. При этом выходное количественное значение в блоках имеет смысл вероятности. Унаследованность фиксируется высокими значениями вероятностного параметра (0.6-1.0 – от светло-зеленых до красных цветов шкалы вероятностного параметра) в центральной и периферийной частях полученной объемной модели. Полученные материалы позволили выделить единые области развития повышенной радиоактивности пород, унаследованно прослеживающиеся более чем в 1000 м интервале глубин (рис. 1г).

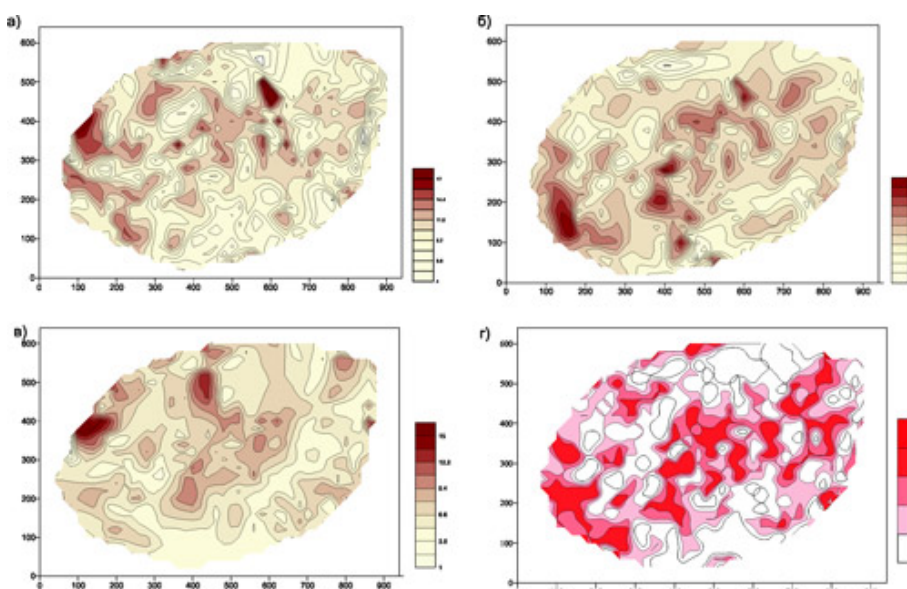


Рис. 1. Дифференциация параметров естественного гамма-поля отдельных интервалов геологического разреза Миннибаевской площади
 а) – семилукский, б) – воронежский, в) – окский, г) – суммарный параметр

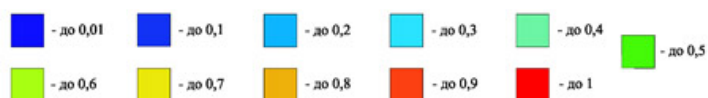
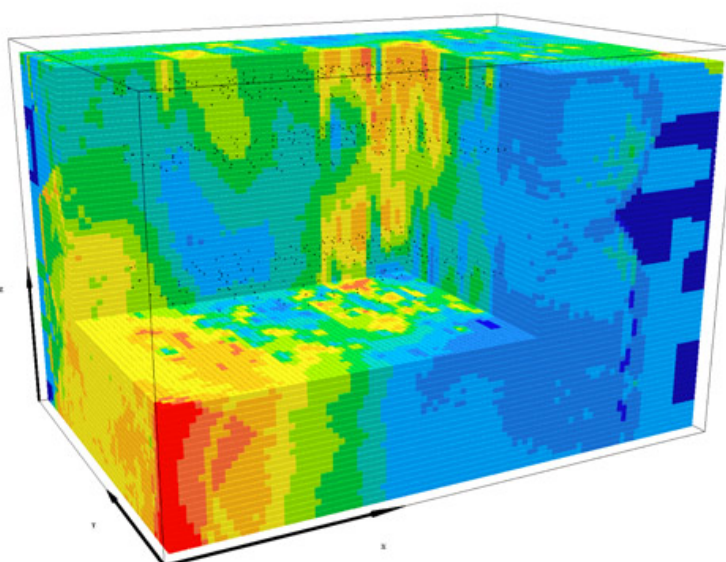


Рис. 2. Вероятностная объемная модель унаследованности радиоактивности пород в геологическом разрезе Миннибаевской площади

Аналогичные примеры, отражающие вариации естественного гамма-поля пород в пределах Абдрахмановской площади, приведены на рисунках 3(а, б, в). С помощью тех же операций, которые были изложены при рассмотрении материалов, полученных на Миннибаевской площади, была построена карта, отражающая поле аномальной радиоактивности пород, устойчиво прослеживающееся в изученной части геологического разреза от кыновских глин до известняков верхнего карбона (рис. 3г). В данном случае общее направление выделенных зон северо-восточное, преимущественно линейное, дискретное.

Изучение природы рассматриваемых вариаций радиоактивности пород показало, что они обусловлены изменениями содержания урана в них при практически полном отсутствии дифференциации в концентрациях тория и калия. Урановая природа аномалий выявлена как при исследовании керна методами гамма- и альфа- спектрометрии, инструментального нейтронно-активационного анализа, трековой радиографии, так и материалами гамма-спектрометрического каротажа скважин.

Унаследованность областей развития повышенной радиоактивности пород в геологическом разрезе Южно-Татарского свода в контуре Ромашкинского месторождения свидетельствует, с одной стороны, о привносе урана в осадочный чехол, с другой – о пульсационном характере данного процесса. Исследования показали, что наряду с ураном, во вмещающую геологическую среду происходит поступление широкой гаммы других элементов, таких как Se, As, Sb, Mo, Re, Hg, распределение которых подчиняется тем же закономерностям, формируя одновременно с ураном общие геохимические аномалии [4]. Чтобы ответить на вопрос об источниках микроэлементов следует, по-видимому, обратиться к вопросу о формировании в осадочных чехлах, вмещающих залежи нефти, толщ с аномальными геохимическими характеристиками. В Волго-Уральской провинции к таким толщам относятся, прежде всего, породы доманиковых фаций верхнего девона, известняки серпуховско-окского горизонта нижнего карбона и карбонатно-глинистые отложения перми. Согласно представлениям, развиваемым в последнее время большинством исследователей, причиной появления подобных образований является проявление базальтового вулканизма как в геологической истории развития Земли, так и в пределах отдельных регионов [5, 6, 7 и др.]. Вулканизм приводит, с одной стороны, к изменению состава атмосферы и гидросферы за счет увеличения в ней концентрации эндогенного углерода в виде CO_2 и CH_4 , а также Cl и F, с другой – к пульсационному поступлению в бассейны седиментации глубинных газовых эманаций, в состав которых входят U, Se, Sb, As, Hg, и др. Совокупный эффект влияния таких факторов приводит в определенных условиях к одновременному накоплению в осадках широкого комплекса

элементов и значительных масс органического вещества, преимущественно в виде бактериальных сообществ (сине-зеленых водорослей), обеспечивающих как их начальное бурное развитие, так и последующее массовое вымирание. Привнос материала в седиментационные бассейны способствует его широкому разнесу по площади, формируя региональные толщи с аномальными геохимическими характеристиками, однако области инъекций глубинных флюидов четко выделяются на общем фоне по своей интенсивности. Так, в частности, в доманиковых отложениях аномальные значения радиоактивности достигают 26-28 γ , при фоновых – 12-16 γ , в известняках нижнего карбона – 18-28 γ , а иногда и 30 γ при средних значениях 4-6 γ , в породах перми 12-14 γ и при 6-8 γ , соответственно. В других породных комплексах эта контрастность ниже, хотя и выражена достаточно отчетливо. При этом значительно снижается общая область распространения пород с высокими значениями радиоактивности и формы их распространения становятся более узкими, линейными (глинистые породы кыновского, известняки бургского и воронежского горизонтов).

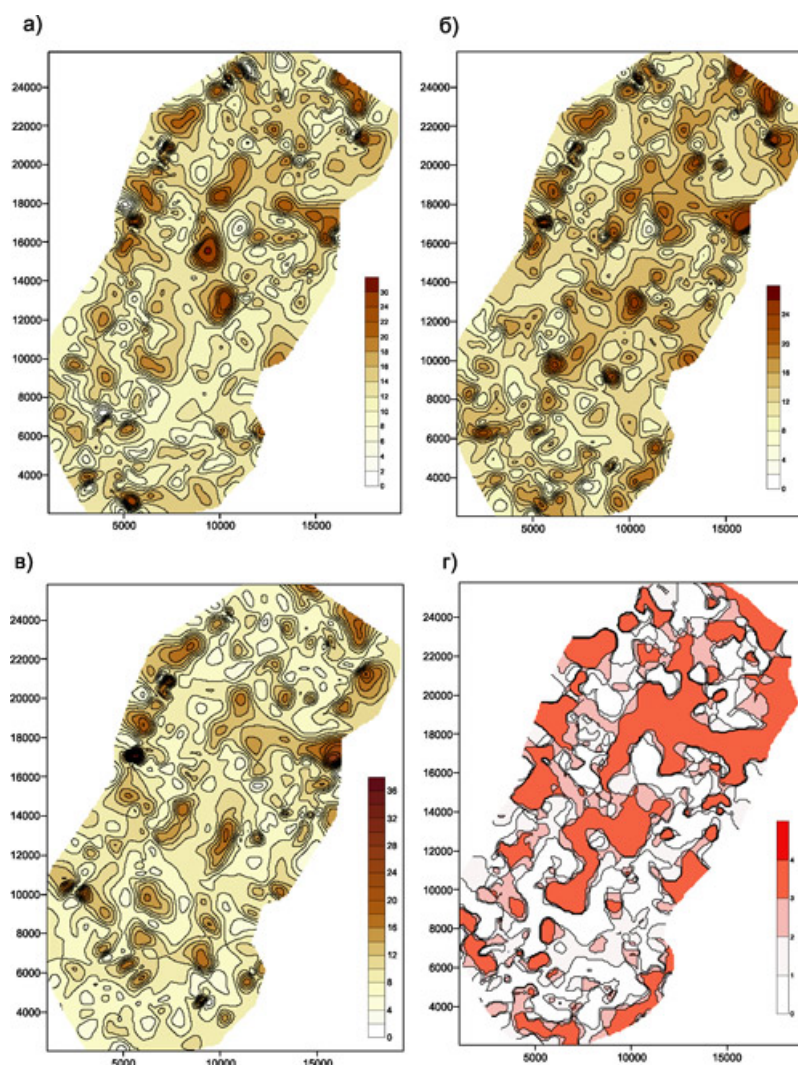


Рис. 3. Дифференциация параметров естественного гамма-поля отдельных интервалов геологического разреза Абдрахмановской площади
 а) – семилюкский, б) – тульский, в) – верхний карбон, г) – суммарный параметр

Поступление глубинных флюидов в осадочный чехол, естественно, могло осуществляться лишь по зонам нарушений сплошности пород. В таком случае положение очагов, аномальной радиоактивности (ураноносности) отложений в геологическом разрезе, должно отвечать развитию зон повышенной трещиноватости в осадочном чехле, сопряженных с тектоническими нарушениями в фундаменте, и найти свое отражение и в других геофизических показателях, в частности, в параметрах нейтронного гамма-поля. В таком случае, высокая радиоактивность осадочных комплексов должна коррелироваться с аномально низкими значениями в них показаний НГК, особенно в карбонатной части разреза. Понимая, что подобное допущение может быть достаточно условным, тем не менее были выполнены построения карт вариаций параметра нейтронного гамма-поля по всем изучаемым горизонтам геологического разреза Миннибаевской и Абдрахмановской площадей. В пределах последней отмечена четкая, однозначная пространственная согласованность в распределении величины нейтронного гамма-поля в исследуемых интервалах разреза независимо от состава рассматриваемых пород как терригенных, так и чисто карбонатных (рис. 4а, б, в).

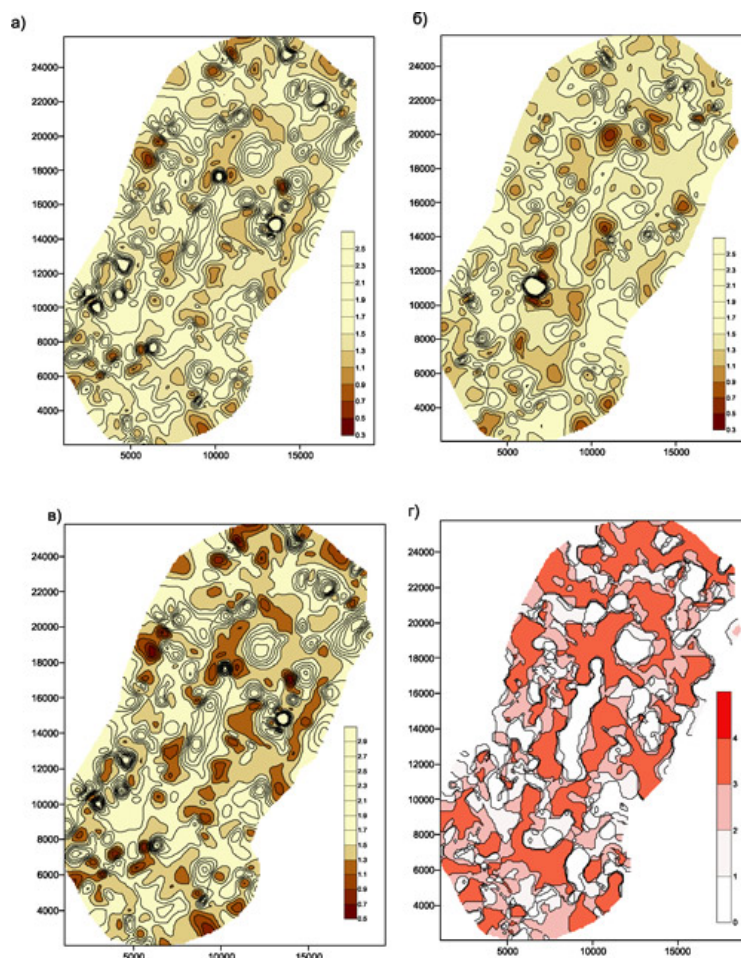


Рис. 4. Дифференциация параметров нейтронного гамма-поля отдельных интервалов геологического разреза Абдрахмановской площади
 а) – семилукский, б) – тульский, в) – верхний карбон, г) – суммарный параметр

Несмотря на то, что коэффициенты корреляции в данном случае оказались ниже, чем при рассмотрении естественной радиоактивности пород, однако при выборке значений, полученных практически по 500 скважинам, они также свидетельствуют о наличии устойчивой вертикальной согласованности в поведении нейтронного гамма-поля. Положение данной области на площади приведено на рис. 4г. Сопоставление карт, отображенных на рисунках 3г и 4г, показало, что положение зон с низкими значениями нейтронного параметра четко соответствует областям развития пород с повышенной радиоактивностью во всем изучаемом интервале геологического разреза.

В пределах Миннибаевской площади вертикальная унаследованность в поведении нейтронного гамма-поля с высокой степенью корреляции наблюдается, главным образом, в карбонатной части разреза, включающей семилукские, бургские и воронежские отложения, в то время как для известняков серпуховско-окского горизонта согласованность с нижней частью разреза менее очевидна. Значимые коэффициенты сохраняются лишь по периметру площади, в то время как в центральной части развиты породы, характеризующиеся высокими значениями нейтронных параметров гамма-поля (рис. 5а, б, в). В данном случае, области развития трещиноватости, обеспечивавшие поступление глубинных ураноносных систем в седиментационный бассейн визейского времени, впоследствии были залечены вторичными карбонатами и ангидритом, что нашло отражение по комплексу материалов ГИС, так и при петрографическом изучении шлифов. Этот факт является основной причиной, объясняющей отсутствие УВ скоплений в известняках нижнего карбона в пределах Ромашкинского месторождения. В то же время на месторождениях Оренбургской и Куйбышевской областей, северного борта Прикаспийской впадины данные отложения характеризуются значительной трещиноватостью и продуктивностью.

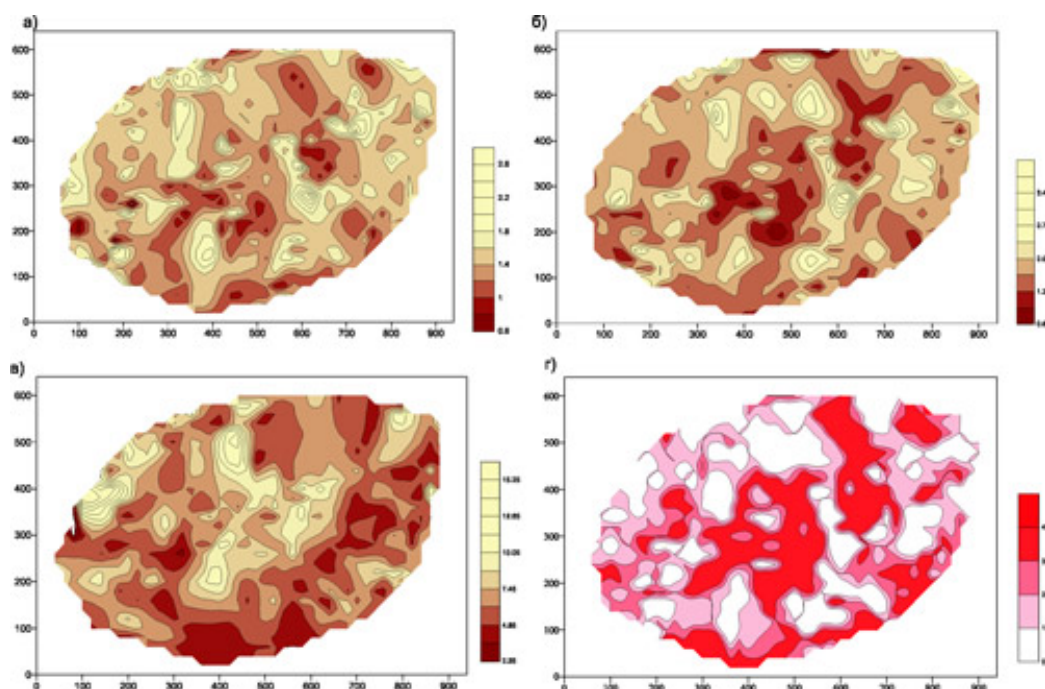


Рис. 5. Дифференциация параметров нейтронного гамма-поля отдельных интервалов геологического разреза Миннибаевской площади
а) – семилукский, б) – воронежский, в) – окский, г) – суммарный параметр

Наличие отчетливой корреляции в распространении пород с повышенными значениями естественного гамма-поля и пониженными – нейтронного поля позволило построить карты интегрированного параметра двух характеристик, которые отражают развитие очагов флюидопроводимости в геологическом разрезе исследуемых площадей (рис. 6). Построения осуществлялись путем введения для каждого горизонта по гамма и нейтронному гамма-полю бинарной модели: – 0, если значения поля ниже аномального, и 1 – для аномальных. Полученные модели суммировались.

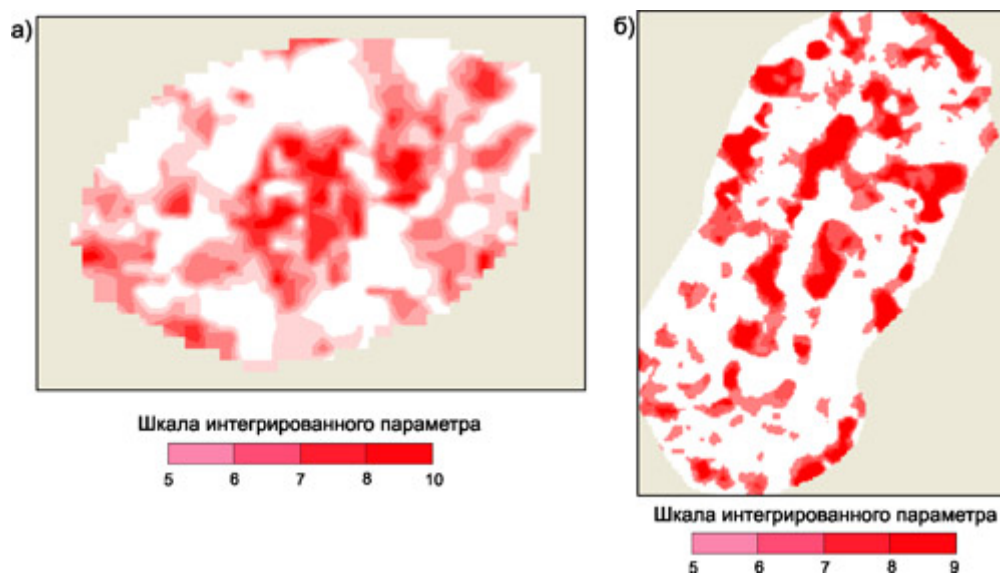


Рис. 6. Схемы развития полей интегрированных аномальных значений естественной и нейтронной гамма-активности в геологическом разрезе Миннибаевской (а) и Абдрахмановской (б) площадей

Совмещение выделенных областей с картой максимальной кривизны рельефа фундамента Миннибаевской площади, полученной путем обработки данных, отражающих гипсометрию его поверхности, показало что высокие значения естественного гамма-поля приурочены, главным образом, к бортам микроблоков, отражая ячеистую структуру фундамента (рис. 7а). Изометрическая форма аномалий, прослеживаемая в центральной части, приурочена к зоне динамического влияния крупного, сложнопостроенного тектонического узла, сформированного пересечениями нарушений различного простирания. Петрографический состав пород фундамента этой области, представленный эндербитами и гранитоидами, характеризуется повышенным содержанием кремнезема, что способствует развитию в ней в периоды тектонической активизации региона максимальной трещиноватости. Линейная область повышенной радиоактивности на юго-западе площади отвечает положению тектонического нарушения более позднего заложения, секущего породы одного петрохимического состава, но надежно выделяемого по комплексу методов. Крупный узел на северо-востоке обусловлен сложным строением фундамента также за счет сгущения сети разрывов сплошности пород. В целом, разломно-

блоковая структура консолидированного основания, сформированная системой разрывных нарушений различного прстириания и времени заложения, отражена в гамма-полях осадочных отложений (рис 7б).

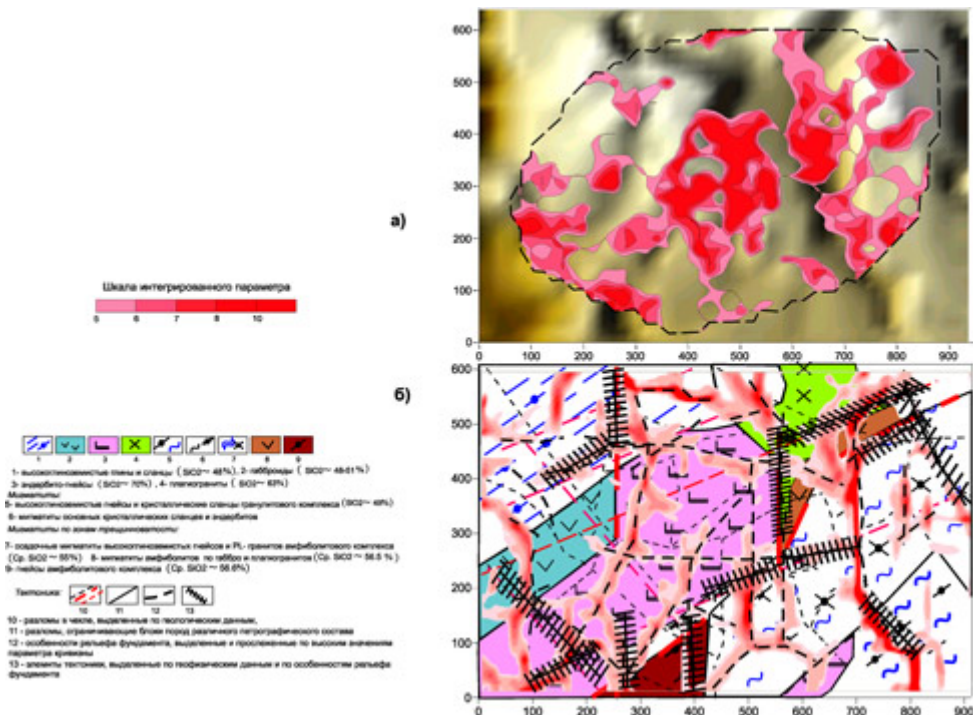


Рис. 7. Распределение интегрированных аномальных значений естественной и нейтронной гамма-активности в сопоставлении с рельефом (а) и структурой фундамента (б) Миннибаевской площади

Сопоставление схемы развития полей интегрированных значений естественной и нейтронной гамма-активности в геологическом разрезе Абдрахмановской площади с рельефом поверхности фундамента показало, что линейные зоны максимальных параметров развиваются по краям 2-х крупных приподнятых блоков, отвечая положению их максимальных перегибов. Дискретность поля внутри блока отражает наличие локальных поднятий, причем повышенная радиоактивность или оконтуривает или перекрывает их (рис. 8а, б).

Устойчивая пространственная согласованность выделенных областей с тектоническими нарушениями в фундаменте свидетельствует о том, что разломно-блоковая раздробленность кристаллического основания определяла не только структуру осадочного чехла на протяжении всей геологической истории развития территории, но и обеспечивала формирование сквозной трещиноватости пород. Последнее, приводит к выводу об определенной консервативности межблоковых зон, соответственно систем блоков и их динамичности. Разрывы, ограничивающие блоки фундамента, подновляясь постоянно, не приводили, как правило, к значительным смещениям пластов осадочного чехла, а выражались в развитии вертикальных устойчиво ориентированных в

пространстве, унаследованно развивающихся в геологическом разрезе зон трещиноватости, в пределах которых наблюдались активные процессы пульсационного поступления глубинных флюидов. Пространственная приуроченность к подобным областям повышенных значений радиоактивности пород в широком интервале глубин свидетельствует о сопряженности протекания во времени и пространстве геодинамических и миграционных процессов. Таким образом, кристаллический фундамент и осадочный чехол выступают как взаимосвязанные элементы, представляющие единую флюидодинамическую систему.

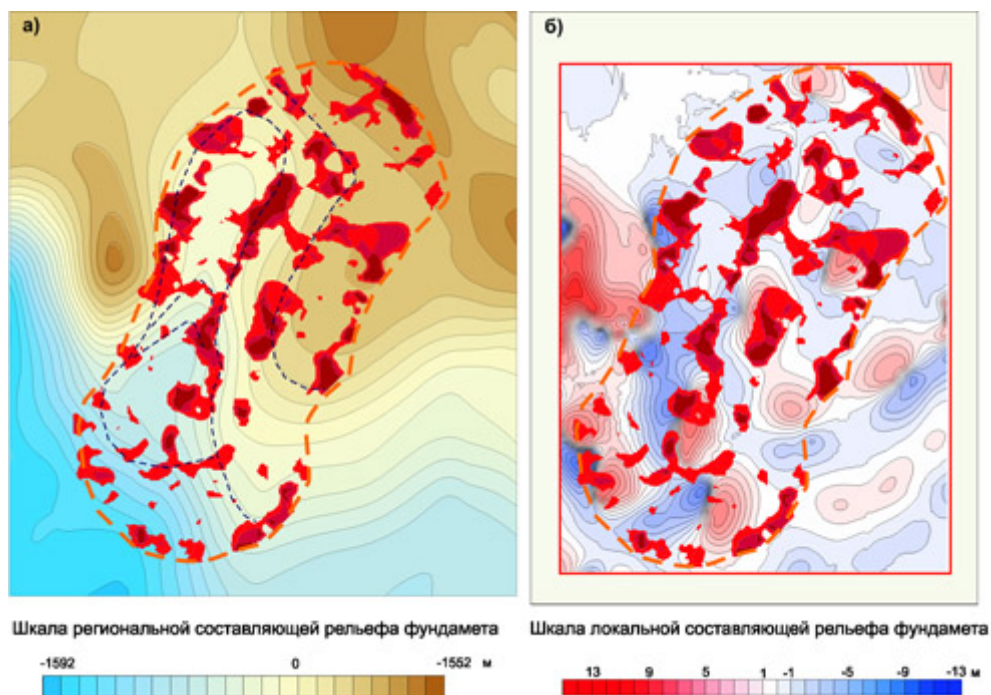


Рис. 8. Схемы развития полей интегрированных значений естественной и нейтронной гамма-активности с региональной (а) и локальной (б) составляющими рельефа фундамента

Неоднократно проявлявшиеся процессы миграции эндогенного вещества определили распределение палео- и современных температурных аномалий, характер вторичных изменений в породах, связанных с частичным окислением восстановленных флюидов, а присутствие в последних, наряду с ураном широкой гаммы других элементов, обусловило формирование не только радиоактивных, но и в целом геохимических полей, сопряженных с зонами флюидопроводимости.

Позднейшие тектоно- геодинамические стадии активизации регионов приводили к поступлению в уже консолидированные отложения по тем же, периодически обновлявшимся проницаемым зонам, нефтеобразующих систем с последующим формированием залежей, что отражает пространственную совмещенность (парагенезис) скоплений углеводородов и ореолов развития аномальных геофизических и

геохимических полей, сформированных на более ранних этапах становления геологической среды регионов.

Приуроченность большинства месторождений к очагам повышенной нарушенности сплошности наблюдается как в осадочных, так и кристаллических породах в пределах всех нефтегазоносных провинций, а совпадение в плане и разрезе контуров нефтяных залежей с областями развития сквозной трещиноватости указывает не только на ее решающую роль в процессах вертикальной миграции эндогенных флюидов, но и на определяющее значение в формировании коллекторов и локализации УВ скоплений [8, 9 и др.]. Так сопоставление выделенных флюидопроводящих зон с промысловыми данными для продуктивных пластов верхнего девона (D_0 и D_1) Миннибаевской площади показало, что в эти зоны попадают скважины с максимальной гидропроводимостью удаленной зоны (> 200 дарси см/спз) и максимальной проницаемостью. Здесь же расположены и скважины с коэффициентом продуктивности > 40 т/сут. и большинство скважин, добыча нефти в которых превышает 1 млн. тонн. Примечателен и тот факт, что нефти, извлекаемые в пределах этих областей, характеризуются пониженной плотностью, сернистостью, вязкостью (данные ТатНИПИнефти).

Исходя из наших представлений об участии глубинных флюидов в нефтеобразовании, полученные зависимости могут отражать не только процессы формирования залежей, но и позволяют наметить зоны их восполнения в настоящее время.

Таким образом, рассмотренные материалы дают возможность, на основе анализа площадных вариаций величины естественно радиоактивности пород, рекомендовать метод выделения областей развития трещиноватости в осадочном чехле и разрабатываемых месторождениях, определять простирание сдвиговых систем нарушений, телескопировать их на большие глубины, оценивать геометрию блоков, моделировать флюидодинамические процессы формирования УВ скоплений, а в совокупности с анализом параметров нейтронного гамма-каротажа рекомендовать для доразведки отдельные интервалы разреза, особенно в случае сложно построенных коллекторов в осадочном чехле и кристаллическом фундаменте и корректировать технологию разработки залежей.

В заключение следует отметить, что наличие аномальных геофизических и геохимических полей в разрезе свидетельствует не о наличии залежей, а о возможности формирования их в ореоле вторжения глубинных систем по унаследованно развивающимся вертикальным зонам трещиноватости, своими корнями уходящими в кристаллический фундамент. Подвижки блоков в последнем, имеющие непрерывно-

прерывистый характер, возникали на различных этапах тектогенеза и приводили не только к подновлению разломов и связанных с ними оперяющих областей трещиноватости, но и обеспечивали протекание как древних флюидодинамических процессов, так и миграцию более молодых нефтеобразующих систем.

Унаследованность и совокупность проявления палео- и современных геодинамических и флюидодинамических событий отражаются в структуре консолидированной земной коры, фиксируемой при проведении МОГТ, МНСП, гравитационного и электромагнитного зондирования, что позволяет предложить комплекс геофизических и геохимических параметров оценки возможной продуктивности разреза при проведении поисково-разведочных работ на углеводородное сырье.

Литература

1. *Алексеев Ф.А., Готтих Р.Н., Лебедев В.С.* Использование ядерных методов в нефтегазовой геологии. М., Недра, 1975, 280 с.
2. *Готтих Р.П., Писоцкий Б.И., Романов Ю.А.* Еще об одной возможности использования скважинной гамма-спектрометрии. Тез. Докл., конф. «Ядерная геофизика 2002», Тверь, 2002, с. 30-32.
3. *Готтих Р.П., Писоцкий Б.И., Малинина С.С., Романов Ю.А.* Парагенезис аномальных геодинамических и геохимических полей и углеводородных скоплений в Волго-Уральской нефтегазоносной провинции (на примере Южно-Татарского свода). Геология нефти и газа, 2004, с. 20-27 (юбилейный выпуск).
4. *Готтих Р.П., Писоцкий Б.И.* Место нефтяных систем в главной геологической периодичности – как основа геохимических методов поиска. Георесурсы, Казань, 2000, N 3 (4), с. 28-30.
5. *Неручев С.Г.* Уран и жизнь в истории Земли. Л. «Недра», 1982, 206 с.
6. *Добрецов Н.Л.* Мантийные плюмы как причина главной геологической периодичности и глобальных перестроек. ДАН, 1997, т. 357, N 6, с. 797-800.
7. *Грачев А. Ф.* Мантийные плюмы и биологические катастрофы в истории Земли.
8. *Блоковое строение земной коры и нефтегазоносность.* Тез. Докл., Межд. конференция, С-Петербург, 2002 г, 280 с.
9. *Устинова В.Н.* Залежи углеводородов, особенности их проявления в геофизических полях. Геофизика, 2002, N 5, с. 25-31.