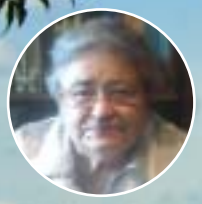
УДК 551.242.4



М.В. Багдасарова
канд. геол.-мин. наук
ИПНГ РАН
старший научный сотрудник
bagdasarova2008@yandex.ru

Современная геодинамика и новые критерии поисков нефтегазовых месторождений

Наблюдения современной геодинамики на специальных полигонах установили тесную связь глубинных разломов с разгрузками поствулканических гидротермальных систем. Показан механизм формирования нефтяного месторождения на примере работ в Припятской впадине. Приводятся новые методы поисков с использованием геодинамических параметров

Observing modern Geodynamics of the Earth`s crust at special landfills have established close links with the unloading of deep faults postvulcaniceskih hydrothermal systems. Formation mechanism shows an example of intergrated oil field jobs in the Pripyat basin. Geodynamic settings are oil field

Ключевые слова: современная геодинамика, глубинные разломы, гидротермальные системы, месторождения нефти
Keywords: modern Geodynamics, deep break a secret, hydrothermal systems, deposits of hydrocarbons

Многолетние исследования современной геодинамики литосферы в разных нефтегазоносных регионах позволили установить общие закономерности формирования нефтяных и газовых месторождений. Выводы Н.А.Кудрявцева, сформулированные еще в середине прошлого века [1], о связи месторождений с глубинными разломами земной коры, подтвердились и геодинамическими наблюдениями. Зоны нефтегазонакопления оказались приуроченными к тем глубинным разломам, которые активно развиваются в настоящее время. Эти структуры проявляются в виде относительно более интенсивных современных вертикальных движений земной поверхности и изменчивости во времени геофизических и геохимических полей. Динамика геофизических и геохимических полей в зонах активных разломов свидетельствует о том, что в глубоких горизонтах литосферы в пределах разломов происходят современные геологические процессы, связанные с изменением плотности вещества в результате миграции наиболее подвижных флюидных систем, насыщающих литосферу.

Комплексные геодезические, геофизические и геохимические наблюдения на геодинамических полигонах [2] позволили утверждать, **что флюидные системы осадочного чехла и фундамента (в том числе нефть и углеводородные газы), разгружаются (мигрируют) по проницаемым зонам разломов и в настоящее время.**

Разгрузки глубинных флюидов происходят пульсационно с разной интенсивностью и до разного гипсометрического уровня, что отражается в строении коллекторов и слабопроницаемых зон, а также в режиме залежей УВ и их геохимических особенностях.

Основные геодинамические параметры зон нефтегазонакопления определяются деформациями земной коры в зонах разломов и миграцией флюидных систем (флюидодинамикой). Разгрузка флюидов проявляется на разных гипсометрических уровнях и отражается в динамике геофизических полей. Эти разгрузки отражены и в температурном поле, барических параметрах и геохимических аномалиях в пластовых водах, нефтях и в виде газовых аномалий прослеживаются до поверхности.

Геодинамические параметры, полученные на нефтегазоносных территориях, послужили основой для обоснования механизма формирования месторождения нефти.

Геодинамические исследования проводились на специальных геодинамических полигонах в пределах древней платформы (Припятский, Дороховский полигоны), в предгорных прогибах (Предуральский и Терско-Каспийский прогибы), в межгорной впадине (Притбилисский район), в Западной Сибири (Салымский полигон). Изучались вертикальные и горизонтальные движения земной поверхности геодезическими методами, изменчивость во времени геофизических и геохимических полей с применением соответствующих методов. Наиболее полно и комплексно работы были проведены в Белоруссии на Припятском полигоне.

Припятская впадина – западная часть древней рифтовой системы прогибов на юго-западе Русской платформы, включающих Днепровско-Донецкую впадину и Донбасс. Кристаллический фундамент впадины в виде ступеней погружается до глубины 6–7 км. Осадочный чехол на 2/3 представлен вулканогенно-карбонатным и соленосным комплексами верхнего девона. Верхняя часть разреза сложена терригенно-карбонатными отложениями верхнего палеозоя, мезозойскими и кайнозойскими осадками.

Особенностью девонской эпохи являются проявления основного, ультраосновного и щелочного вулканизма, который контролировался глубинными разломами, формирующими впадину [3]. Лавы изливались на дно бассейна, затем проявлялась активная гидротермальная деятельность, подобно наблюдаемой сейчас в рифтовых системах океанов, которая затронула в той или иной мере все осадочные породы в пределах проницаемых зон разломов. Карбонатные толщи часто доломитизированы, подвержены галитовому метасоматозу, ангидритизированы. В приразломных зонах в толщах известняков встречаются вторичные поры и каверны, которые и составляют коллектор для нефтяных залежей, а роль плотных «покрышек» выполняют зоны вторичной ангидритизации. Залежи нефти локализуются в приразломных зонах в карбонатных толщах, сильно измененных вторичными процессами.

Флюидные системы в осадочном чехле Припятской впадины представлены рассолами, минерализация которых достигает 600 г/л, нефтью и газом. При изменении напряженного состояния геологической среды подвижные флюиды мигрируют вверх по разрезу, а при выходе разломной зоны на поверхность создают аномалии гелия и углеводородных газов в подпочвенном воздухе, что обычно улавливается приборами. При подъеме рассолов высокой минерализации соли выпадают в твердую фазу и создают купола и раздувы соляных масс, что также наблюдается в геологическом разрезе.

На ***рис. 1*** показано размещение продуктивных и пустых структур в пределах Припятского полигона. Штриховкой выделены зоны разломов, характеризующиеся наибольшей подвижностью, выявленной по данным повторного нивелирования. Эта зона охватывает наиболее продуктивную Речицкую ступень, связанную с одноименным глубинным разломом и северо-восточную часть прибортовой зоны впадины. На схему нанесены данные теплового поля, замеренного в скважинах на глубине 2,5 км. Максимальные температуры также приурочены к северо-восточной части впадины.

Такое распределение температуры хорошо совпадает с результатами изучения теплового потока во впадине. Связь локализации теплового потока и наиболее активной современной динамики разломных зон позволяет считать, что в выделенной зоне происходит более активная вертикальная миграция флюидных систем, т.к. именно они являются переносчиками тепла. Подтвердили эти соотношения и полученные данные по глубинному строению земной коры и верхней мантии, выполненные здесь методами глубинного сейсмического зон-

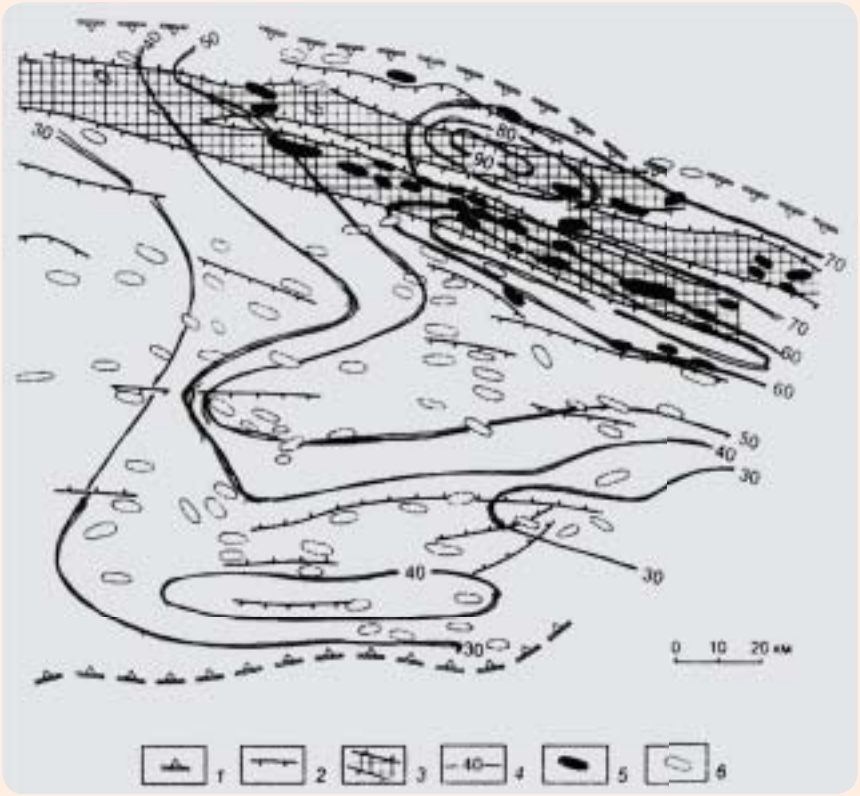


Рис. 5.
Распределение нефтяных месторождений и пустых структур в Припятской впадине на фоне температурного поля в осадочном разрезе и геодинамических характеристик разломов земной коры: 1 – краевые разломы, 2 – разломы фундамента с высокими градиентами современных вертикальных движений земной поверхности (выше 5 мм/км/год); 3 – зоны разломов фундамента с градиентами современных вертикальных движений земной поверхности выше 10 мм/км/год; 4 – изотермы (°С) на глубине 2,5 км; 5 – нефтяные месторождения; 6 – пустые структуры

дирования [4]. Оказалось, что в северной части впадины в коре и верхней мантии обнаружились зоны пониженных скоростей прохождения сейсмических волн на глубинах 30, 70 и 100 км, что свидетельствует о разуплотнении, возможно, – о большей газонасыщенности и плавлении вещества коры и мантии. Позднее аналогичное соотношение продуктивности осадочного разреза и особенностей строения земной коры и верхней мантии было установлено на многих нефтегазоносных территориях [5]. Это свидетельствует, что продуктивность осадочного разреза связана не с осадочной толщей и какими-либо особенными породами, а с более глубокими горизонтами земной коры и мантии.

Флюидные системы разгружаются с больших глубин по наиболее проницаемым зонам разломов, активная динамика которых сопряжена с более активной миграцией флюидов. Мигрирующие флюидные системы предлагается рассматривать как накопленные и современные гидротермальные растворы, которые продолжают разгружаться в осадочный чехол и формируют как рудные, так и нерудные (нефть, газ, соль) и другие ПИ.

По региональному геолого-геофизическому профилю через Припятскую впадину выполнены сейсмические исследования КМПВ, глубинное сейсмическое зондирование, многократное нивелирование с целью изучения современных вертикальных перемещений земной поверхности, повторные наблюдения гравитационного поля, замеры температуры в осадочном чехле в скважинах на глубине 2,5 км.

По многолетним наблюдениям за геодезическими данными, северная часть Припятской впадины испытывает относительный подъем, для нее характерны более высокие градиенты вертикальных движений земной поверхности в зонах разломов. Более высокий тепловой поток, а также пониженные значения скоростей прохождения сейсмических волн в земной коре и верхней мантии под зоной нефтенакопления, где расположены промышленные месторождения, свидетельствуют о плавлении или повышенной газонасыщенности верхней мантии, что отражает дегазацию глубинных сфер Земли и связь промышленных нефтяных месторождений именно с этим глобальным процессом.

Установленные изменения гравитационного поля во времени свидетельствуют, что в осадочном разрезе и фундаменте в зонах разломов происходят геологические процессы, приводящие к изменению плотности. Они могут быть связаны как с изменением газонасыщенности в зонах трещиноватости, так и выпадением соли из рапы при миграции растворов вверх по разрезу. Последнее подтверждается тем, что в наблюдательных скважинах, вскрывших рассолы подсолевых отложений, были обнаружены солевые пробки на гипсометрическом уровне подошвы нижнего пласта соли. Таким образом, термобарические условия выпадения соли в твердую фазу соответствуют условиям подошвы нижней соленосной толщи. Эти наблюде-

ния свидетельствуют о глубинной природе солей, образующихся из рассолов гидротермальных систем после ультраосновного щелочного вулканизма предыдущей эпохи. В настоящее время такие горячие рассолы выходят на поверхность в Данакильской впадине рифтовой системы восточной Африки и также сопряжены с щелочным основным вулканизмом.

Наиболее важным следствием проведенных геодинамических исследований было установление **изменчивости во времени зон трещиноватости и разуплотнения по глубине – от глубоких горизонтов земной коры и верхней мантии до различных по гипсометрии толщ осадочного чехла, с которыми связаны обычно скопления нефти**. Таким образом, напряжения в зоне разлома в разные периоды охватывают разные зоны литосферы, и в соответствии с этим проницаемость (флюидопроводимость) разломной зоны бывает пульсационной, что и отражается в флюидодинамике при режимных наблюдениях геохимических аномалий гелия в приповерхностных условиях и в попутных газах залежей нефти [2].

Современные движения земной поверхности изучались во многих регионах. При интерпретации эмпирических данных важна комплексность исследований разными методами, привлечение геохимических съемок и режимных наблюдений разгрузок флюидных систем, отражающих тесную связь подвижности литосферы и разгрузок (миграции) флюидов до поверхности. При комплексных исследованиях в Припятской впадине использовались водногелиевая и геохимическая съемки по четвертичным водоносным горизонтам, геохимическая углеводородная съемка и режимные наблюдения аномалий гелия в воде и попутных газах нефтяных залежей.

Результаты водногелиевой съемки выявили ураганные аномалии гелия в воде четвертичных отложений в зоне пересечения Речицкого разлома с северо-восточным нарушением, что свидетельствует о глубинности этой проницаемой системы. Режимные наблюдения аномалии показали, что она изменчива во времени так же как и установленные движения земной поверхности. Углеводородные аномалии в подпочвенном воздухе, установленные при проведении съемки, расположены (в плане) вблизи выявленных месторождений и мест выходов на поверхность проницаемых зон разломов [2]. Опробование растворенных в нефти газов установило гелий, а режимные наблюдения этих газов показали значительную изменчивость его содержания. Изменчивы также и многие параметры нефти, например – плотность.

Таким образом, динамика геологической среды, выраженная в градиентах современных движений земной поверхности и изменчивости гравитационного поля во времени, сопряжена с изменчивостью флюидной системы, проявляющейся в изменении содержания гелия в попутном газе и изменениях плотности нефти в залежах. Это свидетельствует, что и в настоящее время продолжается миграция флюидных систем в наиболее проницаемых зонах разломов при деформациях геологической среды. Продолжается формирование и переформирование залежей нефти, этот процесс отражен в тепловом поле, подвижности поверхности Земли и может быть использован в поисковых целях.

Геодинамические исследования, выполненные на Речицком месторождении, позволили выделить наиболее динамичную и проницаемую зону, как по параметрам современных вертикальных движений земной поверхности, так и по вариациям гравитационного поля и геохимическим показателям проницаемости геологического разреза. Наиболее динамичная зона, являющаяся основным проводником флюидных систем из фундамента и боле глубоких горизонтов земной коры, в плане приурочена к пересечению Речицкого разлома с разрывным нарушением северо-восточного простирания, которое проявляется и в структуре поверхности фундамента. Именно эта зона определяет разгрузку глубинных флюидов, т.к. здесь имеются напряжения растяжения, установленные по характеру вертикальных движений земной поверхности. Амплитуда ступени Речицкого разлома достигает 1,5 км. Повышенная флюидопроводимость подтверждается ураганными значениями гелия в четвертичных отложениях, что отражает глубинность проникновения разломной зоны. Установлена также изменчивость во времени гравитационного поля до 0,3 мкГал и магнитного поля до 7 нТ.

Таким образом, геологические процессы продолжают происходить в глубинах Речицкого месторождения. Продолжаются процессы миграции флюидных систем и выпадение из рапы соли, которая нагнетается в зоне разгрузки и формирует соляной купол и отложения кепрока. Зона галитового метасоматоза подтверждается «поглощением» солью несолевых реперных горизонтов, которые хорошо прослеживаются скважинами в северо-восточной части месторождения.

На примере такого типа разгрузок становится понятным не только процесс формирования скоплений УВ, но и возникновение со-

ляных диапиров, глубинная природа которых долго не признавалась.

Продуктивные горизонты карбонатных пород сильно изменены вторичными процессами, гидротермальная природа которых установлена по аутигенным минералам и другим признакам [6]. Емкость коллекторов нефти вторичная, представлена трещинами, кавернами и вторичными порами от растворения матрицы пород при взаимодействии их с поступающими агрессивными глубинными флюидами. При детальном изучении геологического разреза карбонатных толщ обнаружилось выпадение некоторых стратиграфических пачек и размыв (растворение) некоторых горизонтов вблизи разлома.

Приведенные выше геодинамические наблюдения и эмпирические данные позволили сделать следующие выводы:

• зоны нефтегазонакопления приурочены к разломам земной коры, активно развивающимся в настоящее время и проявляющимся в современных движениях земной поверхности и изменчивости во времени геофизических и геохимических полей;

• основные геодинамические параметры определяются деформациями земной коры в зонах разломов и миграцией флюидных систем (флюидодинамикой), разгрузка которых проявляется на разных гипсометрических уровнях вплоть до поверхности;

• залежи нефти и газа формируются в зонах разгрузки флюидных систем на пути их миграции в зонах повышенной трещиноватости, сопровождаются процессами образования вторичных коллекторов и изолирующих свойств пород;

• по характеру вторичных преобразований пород и парагенезам с рудными минерализациями, а также связи с глубинными разломами, флюидные системы (нефть, газ, водные растворы) являются верхней частью магматической термогидроколонны – флюидного солитона [7] и связаны с проявлениями магматизма предыдущих эпох. Активность современных гидротерм проявляется пульсационно и тесно связана с общей динамикой геологической среды;

• формирование месторождений нефти и газа продолжается на современном этапе геологического развития, что делает целесообразным при их поисках использовать выявленные на полигонах геодинамические параметры.

Предлагаемая модель формирования нефтегазовых месторождений позволяет по-новому подойти к поискам и разведке скоплений УВ, используя геодинамические параметры, замеренные на поверхности. Предлагается поиски вести не только по форме предполагаемой ловушки, а по «содержанию» – т.е. по **обнаружению зон разгрузок глубинных флюидных систем, в пределах которых формируются залежи разного типа.** Главным поисковым признаком при этом являются разломы фундамента, их современная тектоническая активность и флюидопроводимость, отраженные в геодинамических параметрах. Важны также характеристики глубинного строения земной коры и верхней мантии, отражающие современную тектономагматическую активность этих зон.

Предлагаемая модель формирования месторождения нефти получена для конкретных условий Припятской впадины, для которой глубинные флюидные системы связаны с основным, ультраосновным и щелочным вулканизмом и соответствующими поствулканическими гидротермальными системами. Таким образом, гидротермальные системы после проявлений основного и ультраосновного вулканизма характеризуются высокой минерализацией водных растворов, выпадением солей и формированием карбонатных толщ т.к. во время осадконакопления при основном вулканизме выносится много щелочей. В последующие периоды жизни такой рифтовой структуры разломы, по которым внедрялась магма, стали проводниками газов и рассолов (в верхней части термогидроколонны). Вынос гидротерм стимулировал соляной диапиризм и гидротермальную проработку накопившегося геологического разреза с выпадением характерных рудных минералов и галитовым метасоматозом.

Другой тип вулканизма и последующих гидротермальных систем выявлен в предгорных прогибах и межгорных впадинах. На примере Предкавказского прогиба в Терско-Сунженской зоне нефтегазонакопления, где проводились геодинамические исследования, прослежена связь месторождений с разломами, температурным полем и разгрузками глубинных флюидных систем [2]. Разгрузки отражены в динамике среды, изменчивости во времени магнитного поля, характере температурного поля. Глубинные флюидные системы этого региона существенно отличаются от предыдущего района. Нефтяные воды здесь, в отличие от припятских, маломинерализованы (до 50 г/л), преимущественно гидрокарбонатно-натриевого типа. Высокоминерализованные рассолы встречаются здесь редко и в отдельных локальных участках. Характерна разгрузка современных гидротермальных систем до поверхности, где они выходят в виде горячих слабоминерализованных источников с газом и нефтепроявлениями или в виде грязевых вулканов.

Таким образом, «пластовые флюиды» нефтегазовых территорий являются современными и накопленными гидротермальными растворами, которые помимо нефти формируют месторождения различных рудных и нерудных (соль, флюорит, бораты, сера и др.) ПИ в зонах разгрузки по глубинным разломам. Глубинная гидротермальная природа этих флюидных систем тесно связана с особенностями предыдущих вулканических событий. Естественно, что поиски нефтегазовых месторождений должны быть направлены не на структурные признаки формы ловушек, а на поиски зон современной разгрузки глубинных флюидных систем, в которых формируются эти месторождения. Для этого следует:

• при анализе результатов сейсмических работ обращать внимание на горизонтальные неоднородности, отражающие вертикальные разломы осадочного чехла и фундамента, которые могут быть наиболее проницаемыми системами в геологическом разрезе;

• возродить геохимические съемки по приповерхностным отложениям и водоносным горизонтам (углеводородную, водногелиевую и др.), которые показывают выход проводящих разломов на поверхность и связь глубинных флюидных систем с поверхностью Земли;

• регистрировать важный признак современной миграции флюидных систем в геологическом разрезе – тепловое поле. В настоящее время разработано много методов выявления тепловых аномалий, которые и являются проявлением миграции флюидов. Эти участки представляют первостепенный интерес при поисках залежей УВ;

• накапливать важную информацию о динамике глубинных флюидных систем в геологическом разрезе, которую дают повторные наблюдения неприливных вариаций гравитационного поля, отражающие происходящие в настоящее время геологические процессы в литосфере: эти зоны свидетельствуют о проницаемости разломной зоны и динамике флюидов на глубине, т.е. о тектонической активности разломной зоны. Именно с такими разломами, как показали геодинамические исследования, и связано формирование скоплений УВ;

• анализировать интересные эмпирические материалы, полученные при изучении современных вертикальных движений земной поверхности методом высокоточного повторного нивелирования. Оказалось, что по характеру вертикальных движений земной поверхности можно рассчитать глубину залегания максимальных деформаций в осадочном чехле и фундаменте. На примере Припятской впадины показано, что эти зоны совпадают с залежами нефти, т.е. представляют собой трещинно-поровые коллекторы в толще плотных карбонатных пород [2].

Следует напомнить, что флюидные системы с нефтью, газом и рудными компонентами едины и разгружаются по разломам из глубин Земли в осадочный чехол или на дно океанов и морей и в настоящее время. Основное внимание геологов при поисках месторождений УВ должно быть направлено **на обнаружение очагов разгрузки флюидов, для чего необходимо применять соответствующие методы**. Помимо повторных гравиметрических наблюдений и динамики разломных зон геодезическими методами, интересен в этом отношении и сейсмический мониторинг геологической среды.

Скопления флюидов в литосфере и обогащение ими твердых пород реагируют на прохождение сейсмических волн, что уже понято геофизиками. В динамике (при мониторинге) скопления флюидов в литосфере, обогащение ими твердых пород проявляются особенно отчетливо и могут также быть использованы в поисковых целях.

Литература

1. Кудрявцев Н.А. Глубинные разломы и нефтяные месторождения. Гостоптехиздат. 1963.
2. Сидоров В.А., Багдасарова М.В., Атанасян С.В. и др. Современная геодинамика и нефтегазоносность. М. 1989. 200 с.
3. Корзун В.П. Верхнедевонская щелочная вулканогенная формация Припятского прогиба //Проблемы тектоники Припятского прогиба. Минск. 1974. С. 178–183.
4. Гарецкий Р.Г., Клушин С.В. Глубинное строение и нефтегеологическое районирование Припятского прогиба // Докл. АН БССР. 1988. Т. 32. № 1. С. 49–52.
5. Булин Н.К., Егоркин А.В. Региональный прогноз нефтегазоносности недр по глубинным сейсмическим критериям. М. 2000. 192 с.
6. Ржанников В.Е. Некоторые результаты проявления низкотемпературной гидротермальной деятельности в Припятском прогибе //Проблемы тектоники Припятского прогиба.1974. С. 87–91.
7. Володин И.А., Гуфельд И.Л. Автосолитоны во флюидодинамике //Материалы совещания «Тектоника, геодинамика и процессы магматизма и метаморфизма». 1999. Т. 1. С. 147–150.