

ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ И СОЗДАНИЕ МОДЕЛИ ФОРМИРОВАНИЯ НЕФТЕГАЗОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

М.В. Багдасарова
ИПНГ РАН, Москва

Многолетние наблюдения современной динамики и флюидодинамики в нефтегазоносных регионах с разным геологическим строением осуществлялись с использованием комплекса геодезических, геофизических и геохимических методов [1]. Результаты этих исследований явились основанием для построения модели формирования нефтегазового месторождения как в условиях древней платформы, так и в условиях краевых прогибов и межгорных впадин – на территориях с разными геодинамическими характеристиками.

Для построения модели формирования нефтегазового месторождения на древней платформе использовались многолетние наблюдения на специальных геодинамических полигонах в Припятской впадине. Комплексом геофизических, геодезических и геохимических методов изучалась современная динамика зон разломов – современные вертикальные и горизонтальные перемещения земной поверхности, изменение во времени геофизических полей и миграция флюидных систем в пределах проницаемых зон разломов. Было установлено, что зоны нефтегазонакопления приурочены к тем разломам земной коры, которые характеризуются современной тектонической активностью, проявляющейся в современных движениях земной поверхности и изменчивости во времени геофизических полей. Современная динамика геологической среды сопряжена с миграцией флюидных систем, насыщающих литосферу. Полученные эмпирические данные явились основанием для построения модели формирования месторождений нефти в условиях древней платформы. Наиболее наглядным примером комплексных исследований служат работы, проведенные в Припятской впадине.

Припятская впадина является западным членом древней рифтовой системы прогибов на юго-западе Восточно-Европейской платформы, включающей, помимо Припятской, Днепровско-Донецкую впадину и Донбасс. Кристаллический фундамент Припятской впадины в виде ступеней погружается до глубины 6–7 км. Осадочный чехол представлен вулканогенно-карбонатным и соленосным комплексами верхнего девона,

которые составляют 2/3 осадочного разреза, а также 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. Лавы изливались на дно бассейна, а после них проявлялась активная гидротермальная деятельность, подобная той, что имеет место сегодня в рифтовых системах океанов. Гидротермальной деятельностью затронуты в той или иной мере все осадочные породы в пределах проницаемых зон разломов. Карбонатные толщи часто доломитизированы, подвержены галитовому метасоматозу, часто ангидритизированы. В приразломных зонах в толщах известняков встречаются вторичные поры и каверны, которые и составляют коллектор для нефтяных залежей, а зоны вторичной ангидритизации – плотные «покрышки». Залежи нефти локализируются в приразломных зонах в карбонатных толщах, сильно измененных вторичными процессами.

Флюидные системы в осадочном чехле представлены рассолами, нефтью и газом. При изменении напряженного состояния геологической среды подвижные флюиды мигрируют вверх по разлому. В местах выхода разломной зоны на поверхность создаются аномальные области с повышенным содержанием 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 по глубоким скважинам 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, так как именно флюидные системы являются переносчиками тепла. Подтвердили эти соотношения и

данные по глубинному строению земной коры и верхней мантии, полученные с помощью методов глубинного сейсмического зондирования [2]. Оказалось, что в северной части впадины в коре и верхней мантии обнаружались зоны пониженных скоростей прохождения сейсмических волн на глубинах 30, 70 и 100 км, что свидетельствует о разуплотнении, возможно, 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 [3]. Все это доказывало, что большая газонасыщенность и продуктивность осадочного разреза связаны 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. С учетом приуроченности к глубинным разломам и специфических преобразований пород в приразломных зонах 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) полезные ископаемые [4, 5].

На рис.2 приведен геолого-геофизический региональный профиль через Припятскую впадину, по которому выполнены сейсмические исследования КМПВ (Г), показано схематическое строение фундамента и осадочного чехла, отражены результаты глубинного сейсмического зондирования (Д). По этому же профилю выполнено многократное нивелирование с целью изучения современных вертикальных перемещений земной поверхности (А) и проведены повторные наблюдения гравитационного поля (Б), а также показана температура в осадочном чехле на глубине 2,5 км по данным замеров температуры в глубоких скважинах (В). Интерпретация глубинного строения земной коры и мантии приведена с учетом этих данных [2].

Северная часть Припятской впадины испытывает относительный подъем и для нее характерны более высокие градиенты вертикальных движений земной поверхности в зонах разломов. Для этой зоны характерен и более высокий тепловой поток, а под зоной нефтенакпления, где расположены промышленные месторождения, находятся земная кора и верхняя мантия с пониженными значениями скоростей прохождения сейсмических волн. Это свидетельствует о плавлении или повышенной газонасыщенности верхней

мантии, уменьшении дегазации глубинных сфер Земли и связи промышленных нефтяных месторождений именно с данным глобальным процессом.

Важны также установленные изменения во времени гравитационного поля, что отражено на соответствующих кривых. Эти соотношения свидетельствуют о том, что в осадочном разрезе и фундаменте в зонах разломов происходят геологические процессы, приводящие к изменению плотности. Такие изменения могут быть обусловлены как изменением во времени газонасыщенности в зонах трещиноватости, так и выпадением соли из рапы при миграции растворов вверх по разрезу.

Наиболее важным результатом 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.

Можно привести пример такого перемещения зон деформаций при длительных наблюдениях современных вертикальных движений земной поверхности по Даниловскому пересечению Речицкого регионального разлома за разные периоды наблюдений. Методика наблюдений и расчетов положения максимальных зон деформаций (трещиноватости), соответствующих установленным вертикальным перемещениям земной поверхности, детально изложена в [1]. Показаны центры напряжений в литосфере, которые возбуждают вертикальные движения земной поверхности. Напряжения в зоне разлома возникают в земной коре на глубинах от 4–5 до 25 км. Аномалии движений сопряжены с изменениями во времени гравитационного поля. Эти сопряженные геодинамические параметры свидетельствуют о геологических процессах, происходящих в зоне разлома. Процессы характеризуются изменением плотности, что, как указывалось выше, может быть следствием увеличения газонасыщенности или выпадения солей.

Современные движения земной поверхности изучались во многих регионах. При интерпретации эмпирических данных важна комплексность исследований с привлечением различных методов, путем геохимических съемок и режимных наблюдений разгрузок флюидных систем, отражающих тесную связь подвижности литосферы и разгрузок (миграции) флюидов до поверхности. Такие комплексные исследования проводились 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.

В результате водногелиевой съемки были выявлены 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. При проведении съемки также были установлены углеводородные аномалии в подпочвенном воздухе. Они расположены (в плане) вблизи выявленных месторождений.

Опробование растворенных в нефти газов установило наличие гелия, а режимные наблюдения этих газов показали значительную изменчивость его содержания. Изменчивы также и многие параметры нефти, например плотность. Длительный период наблюдений динамики флюидной системы в пределах Сосновского и Южно-Сосновского месторождений, контролируемых Речицким региональным разломом позволил выявить ее особенности. Изменение градиентов вертикальных движений, гравитационного поля, плотности нефти в разных залежах и содержания гелия в попутном газе и другие данные свидетельствуют о крайней нестабильности флюидной системы и сопряженности изменений с меняющимися деформациями литосферы.

На верхнем графике показаны изменчивость градиентов вертикальных движений (Δh_{2-1}) и изменчивость во времени гравитационного поля (Δg_{2-1}) за длительный период наблюдений. На нижнем графике приведены данные о плотности нефти (γ , г/см³) для залежей в межсолевых и подсолевых отложениях верхнего девона и о содержании гелия в попутном газе подсолевой залежи, расположенной в приразломной зоне вблизи фундамента. На графиках видна нестабильность плотности нефти за пятилетний период наблюдений. Наиболее резкие перепады значений наблюдаются в небольшой по объему приразломной залежи вблизи фундамента. Нефть в ней более легкая, и плотность ее весьма изменчива. В большей по объему межсолевой залежи нефть имеет более высокую плотность, которая также меняется, но менее резко. Существенно меняется содержание гелия в попутном газе.

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. Эти параметры свидетельствуют о том, что и в настоящее время продолжается миграция флюидных систем в наиболее проницаемых зонах разломов при деформациях геологической среды. Продолжается формирование и переформирование залежей нефти, и этот процесс отражен в тепловом поле, подвижности поверхности Земли и может быть использован в поисковых целях.

Наиболее наглядно модель формирования месторождения нефти в условиях Припятской впадины и геодинамические признаки месторождения можно продемонстрировать на примере Речицкого месторождения, на котором были проведены и геодинамические исследования (рис. 3).

Данные исследования 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. Как видно по геологическому строению месторождения и данным, приведенным выше, эта наиболее динамичная зона является основным проводником флюидных систем из фундамента и более глубоких горизонтов земной коры. В плане она приурочена к пересечению Речицкого разлома с разрывным нарушением северо-восточного простирания, которое проявляется в структуре поверхности фундамента. Исходя из геологического строения месторождения, можно заключить, что именно эта зона определяет разгрузку глубинных флюидов, так как 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.

Продуктивные горизонты карбонатных пород сильно изменены вторичными процессами, гидротермальная природа которых была 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 результаты геодинамических наблюдений и эмпирические данные позволили сделать следующие выводы:

1 – 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;

2 – 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;

3 – залежи нефти и газа формируются в зонах разгрузки флюидных систем на пути их миграции в зонах повышенной трещиноватости с образованием вторичных коллекторов и изолирующих свойств пород;

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

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

Таким образом, предлагаемая модель формирования нефтегазовых месторождений позволяет по-новому подойти к поискам и разведке углеводородных скоплений, используя геодинамические параметры, замеренные на поверхности. Данные поиски представляется целесообразным вести не только по форме предполагаемой ловушки, но и

по ее «содержанию», т.е. по зонам разгрузок глубинных флюидных систем, в пределах которых формируются залежи разного типа. Главными поисковыми признаками при этом являются разломы фундамента, их современная тектоническая активность и флюидопроводимость, которые отражены в геодинамических параметрах. Важное значение имеют также характеристики глубинного строения земной коры и верхней мантии, отражающие современную тектоно-магматическую активность этих зон.

Предлагаемая модель формирования месторождения нефти получена для конкретных условий Припятской впадины, глубинные флюидные системы которой связаны с основным, ультраосновным и щелочным вулканизмом и соответствующими поствулканическими гидротермальными системами. Другой характер флюидных систем свойствен андезитовому и более кислому вулканизму, который характеризуется более высоким содержанием летучих компонентов, в том числе воды. Это обстоятельство существенно увеличивает геодинамический потенциал флюидной системы. Таким образом, осуществляется иная модель формирования месторождений, что показано в работе о геодинамических типах месторождений [8].

ЛИТЕРАТУРА

1. Сидоров В.А., Багдасарова М.В., Атанасян С.В. и др. Современная геодинамика и нефтегазоносность. М.: Наука, 1989. 200 с.
2. Гарецкий Р.Г., Клушин С.В. Глубинное строение и нефтегеологическое районирование Припятского прогиба // Докл. АН БССР. 1988. Т. 132, № 1. С. 49–52.
3. Булин Н.К., Егоркин А.В. Региональный прогноз нефтегазоносности недр по глубинным сейсмическим критериям. М.: ГЕОН, 2000. 192 с.
4. Багдасарова М.В. Роль гидротермального процесса в формировании коллекторов нефти и газа // Геология нефти и газа. 1997. № 9. С. 42–46.
5. Багдасарова М.В. Современные гидротермальные системы и их связь с формированием месторождений нефти и газа // Фундаментальный базис новых технологий нефтяной и газовой промышленности. М., 2000. С. 100–115.
6. Ржанников В.Е. Некоторые результаты проявления низкотемпературной гидротермальной деятельности в Припятском прогибе // Проблемы тектоники Припятского прогиба. Минск, 1974. С. 87–91.

7. Володин И.А., Гуфельд И.Л. Автосолидоны во флюидогеодинамике // Материалы совещания «Тектоника, геодинамика и процессы магматизма и метаморфизма». М., 1999. Т. 1. С. 147–150.

8. Багдасарова М.В. Особенности флюидных систем зон нефтегазонакопления и геодинамические типы месторождений // Геология нефти и газа. 2001. № 3. С. 50–56.

ПРИЛОЖЕНИЕ

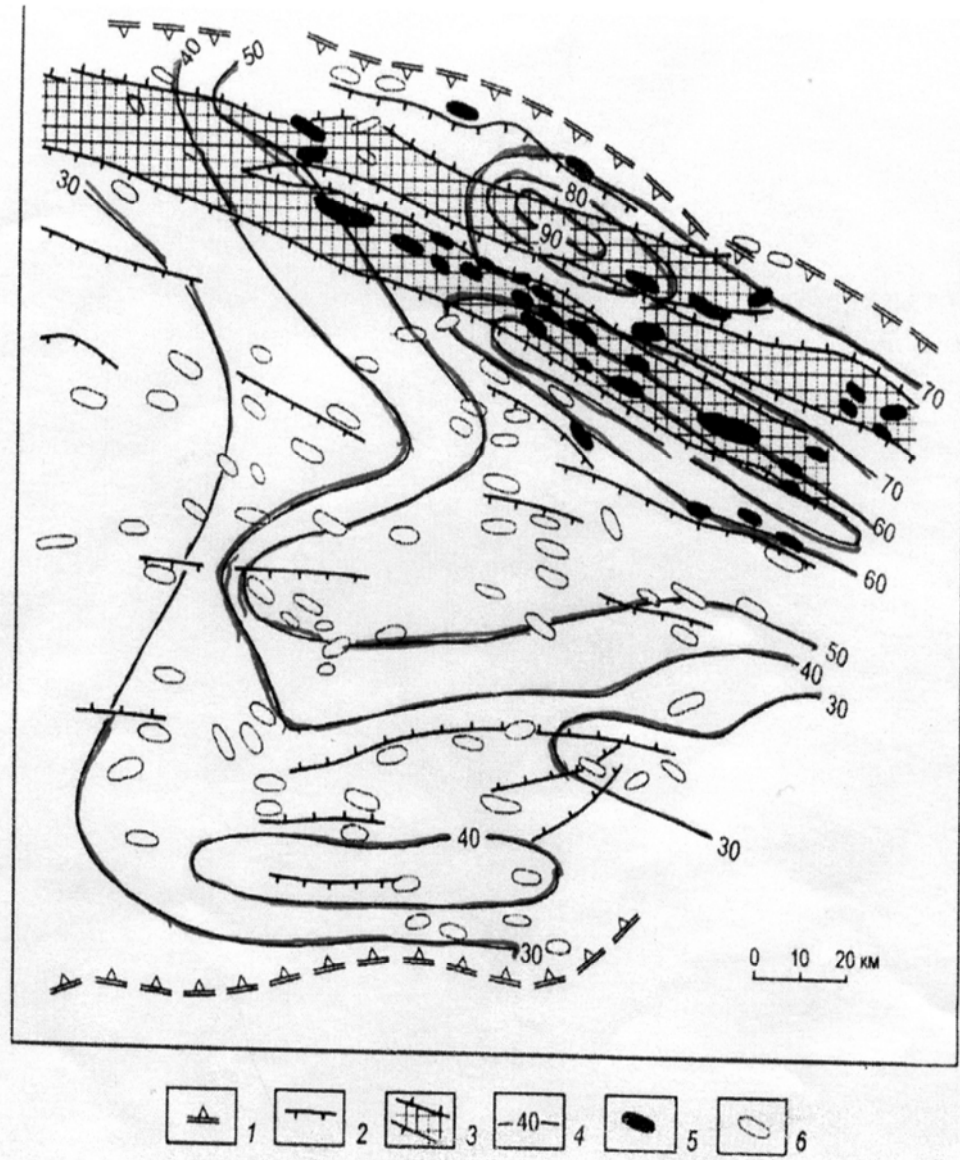


Рис. 1. Распределение нефтяных месторождений и пустых структур в Припятской впадине на фоне температурного поля в осадочном разрезе и геодинамических характеристик разломов земной коры

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 ($^{\circ}\text{C}$) на глубине 2,5 км; 5 – нефтяные месторождения; 6 – пустые структуры

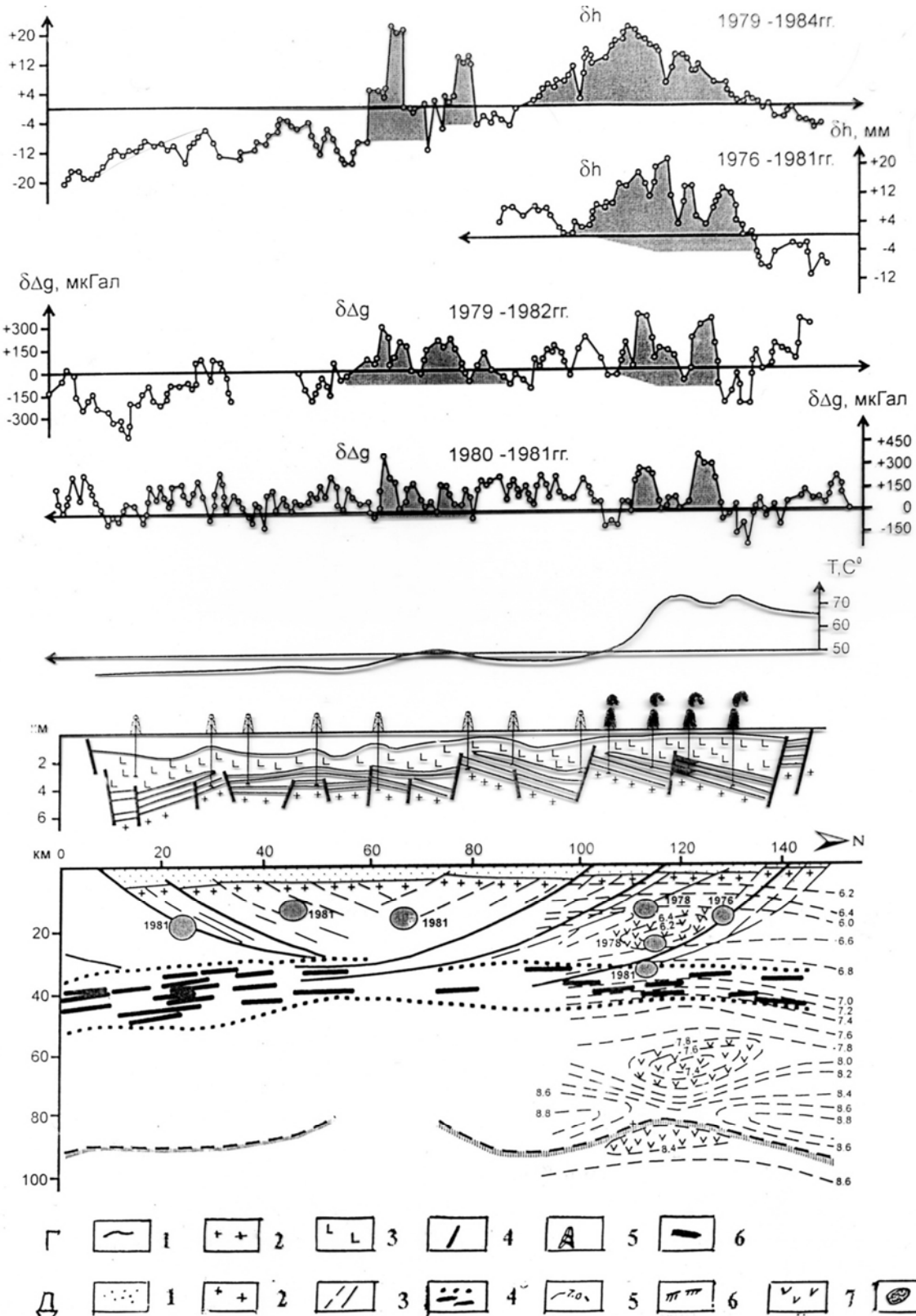


Рис.2 Результаты геофизических и геодинамических работ по региональному профилю УШ-УШ через Припятскую впадину

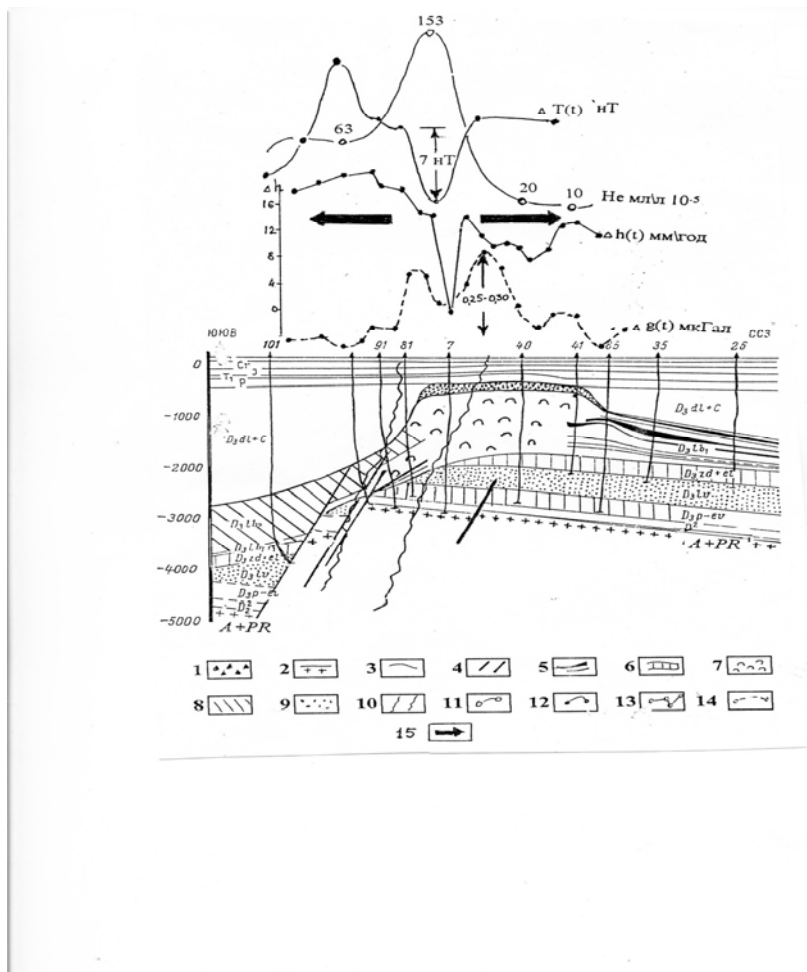


Рис. 3. Речицкое месторождение. Основные геодинамические характеристики и геологическое строение

1 – образования кепрока; 2 – поверхность кристаллического фундамента; 3 – геологические границы; 4 – разломы фундамента; 5 – реперные горизонты соленосной толщи верхнего девона и зоны их замещения; 6 – карбонатные комплексы (продуктивные), сильно измененные в результате проработки гидротермальными растворами; 7 – зона галитового метасоматоза; 8 – надсолевые отложения верхнего девона с признаками засоления в период осадконакопления; 9 – нижняя соленосная толща; 10 – наиболее проницаемая зона для современных флюидоперетоков по данным геохимических и геофизических наблюдений; 11 – содержание водорастворенного гелия четвертичных отложений в зоне Речицкого разлома; 12 – изменение во времени магнитного поля над Речицким разломом; 13 – современные вертикальные движения земной поверхности в зоне Речицкого разлома; 14 – изменения во времени гравитационного поля; 15 – преобладающие напряжения растяжения над Речицким разломом