

*Andrey V. Zagorodnov,*  
*Hydrocarbon reserves estimation chief,*  
*Ukrainian Scientific Research Institute of Natural Gases*

## Connection of Oil and Gas Deposits with Hydrocarbon Migration Routes, as Indispensable Condition for Their Formation

**Key words:** *hydrocarbons, reservoir, migration routes.*

**Annotation:** *the article raises the issue of linking existing hydrocarbon deposits with migration routes and deep channels of their entry into the sedimentary cover. On the example of deposits in the central part of the Dnieper-Donets basin, the links of hydrocarbon deposits with tectonic disturbances of deep deposits and weakened zones at their intersection are traced, where the sedimentary section is often perforated by salt diapirs. Attention is focused on the fact that the present deposits of oil and gas have a generation not earlier than the Mesozoic era and are replenished by modern deep degassing of the mantle and generation in the oil-bearing strata. Additional criteria are proposed, which should be taken into account when designing prospecting and exploration work.*

В связи с увеличением потребностей в энергоносителях требуется увеличение добычи углеводородов (УВ), и наращивание их ресурсной базы. Необходимо постоянно открывать новые залежи и месторождения нефти и газа, а это в условиях детальной разведанности нефтегазоносных регионов, является сложной задачей. Для решения этой проблемы, все чаще используются достижения смежных с нефтегазовой геологией наук, нетрадиционные взгляды и экспериментальные исследования.

Залежи нефти и газа приурочены к ловушкам УВ из которых ведется их добыча, но к месту своего накопления нефть или газ преодолевают значительный путь из мест своего образования. Далеко не все выявленные ловушки содержат залежи УВ. По мнению автора, эффективность поисков нефтегазовых залежей значительно возрастет если будут учитываться исследования по выявлению и изучению путей миграции УВ, из мест генерации к местам аккумуляции.

Цель работы привлечь внимание геологов, работающих в нефтегазовой отрасли, проектантов поисково-разведочных работ, к исследованиям смежных наук (геохимия, гидрогеология, термобарические исследования), которые способствуют выявлению и отслеживанию путей миграции УВ. Задача автора в общих чертах на примере Днепровско-Донецкой впадины (ДДВ), показать связь промышленных залежей УВ с путями их миграции. В связи с этим рассмотрены:

- тектонические нарушения, как каналы миграции и как экраны для промышленных скоплений УВ.
- соляные штоки, как каналы миграции УВ и как структурообразующий фактор для формирования антиклинальных и других типов ловушек.
- фактор времени активности флюидопроводящих нарушений и соляных штоков.
- породы-покрышки, способствующие аккумуляции УВ.

В ДДВ сейсмическими исследованиями выделяется целая сеть глубинных тектонических нарушений, секущих кристаллический фундамент и уходящих своими корнями в верхнюю мантию. Нарушения преимущественно ориентированы в двух направлениях: субмеридиональные – север-северо-восточные и субширотные – запад-северо-западные.

Субмеридиональные тектонические нарушения – дорифтовые, прослеживаются за пределами Днепровско-Донецкого рифта на Воронежском кристаллическом массиве и Украинском кристаллическом щите.

Субширотные тектонические нарушения – рифтообразующие, прослеживаются по бортам и вдоль бортов рифта, в его осевой и приосевой частях и полностью контролируют ступенчатое погружение фундамента впадины от бортов к осевой части на всем протяжении.

Все тектонические нарушения глубинного заложения в связи с постоянно существующими тектоническими напряжениями, являются долгоживущими, что подтверждается их трассировкой через весь разрез осадочного чехла до четвертичных отложений, а иногда и затрагивая их. В связи с постоянной тектонической и неотектонической активностью данные нарушения являются флюидопроводящими, подтверждением чего является повышенное содержание гелия и других газов глубинного генезиса в водах зоны их развития (1). Выявление и трассировка подобных нарушений возможна при проведении сейсмических, а также геохимических и термобарических исследований, с учетом времени рассасывания аномалий последних (2, 3). Глубинные нарушения – каналы для миграции УВ любого генезиса как глубинных, так и сгенерированных нефтематеринскими породами.

Тем не менее, часто встречаются тектонические нарушения, которые служат экранами или ограничениями для промышленных залежей УВ. Если проследить трассировку экранирующих тектонических нарушений, можно убедиться, что практически все они не являются нарушениями глубинного заложения и в большинстве, если не во всех случаях, есть оперяющими нарушениями глубинных дизъюнктивов. Их заложение происходило в одну из многочисленных фаз тектонической активизации. Осадочные породы, при этом, смещались постседиментационно и непродолжительное время, снимая тектоническое напряжение на локальном участке. В связи с отсутствием постоянных или периодически возникающих напряжений на данном участке разреза, образовавшееся оперяющее тектоническое нарушение имеет ограниченное распространение по разрезу и затухает в момент снятия напряжений по окончании тектонической фазы. Зона дробления пород залечивается раскристаллизовавшимися из циркулирующих растворов минералами, а плоскость сбрасывателя, потерявшего активность нарушения, становится экраном для залежей УВ.

Таким образом, тектонические нарушения могут выполнять различные функции, как проводящих каналов для миграции УВ, так и экранов, способствующих их аккумуляции в залежи (рис. 1).

Отдельно следует остановиться на пересечениях глубинных нарушений. Это наиболее ослабленная зона кристаллического фундамента через которую из мантии в осадочный чехол вторгались интрузивные тела и различного рода высокотемпературные агрессивные флюиды. Большинство пересечений явилось причиной или способствовало перфорации осадочного чехла соляными диапирами.

Соляные штоки, располагаясь в ослабленной нарушениями зоне, являются постоянным объектом тектонической активности. В силу этого, для флюидов они становятся зоной, как накопления давления во время тангенциальных движений или интрузивных мантийных вторжений, так и зоной его разгрузки при прорыве соленосных пород после достижения критических значений. Поскольку каменная соль восприимчива к изменению термобарических условий (сильно растворима при высоких температурах, относительно легкоплавка и при этом имеет высокую теплопроводность), то при внедрении мантийных масс и флюидов она, приобретая пластичные свойства, под действием высокого давления, двигается в направлении наименьшего сопротивления, как правило, по зонам дробления дизъюнктивов или по каналам существующих соляных штоков, продолжая их рост. При этом соляные тела, имея высокую теплопроводность исполняют роль теплоотвода, быстро уменьшая температуру проникающих масс и растворов. При значительном объеме и скорости движения мантийных внедрений, давление приобретает критические значения и происходит их прорыв на поверхность,

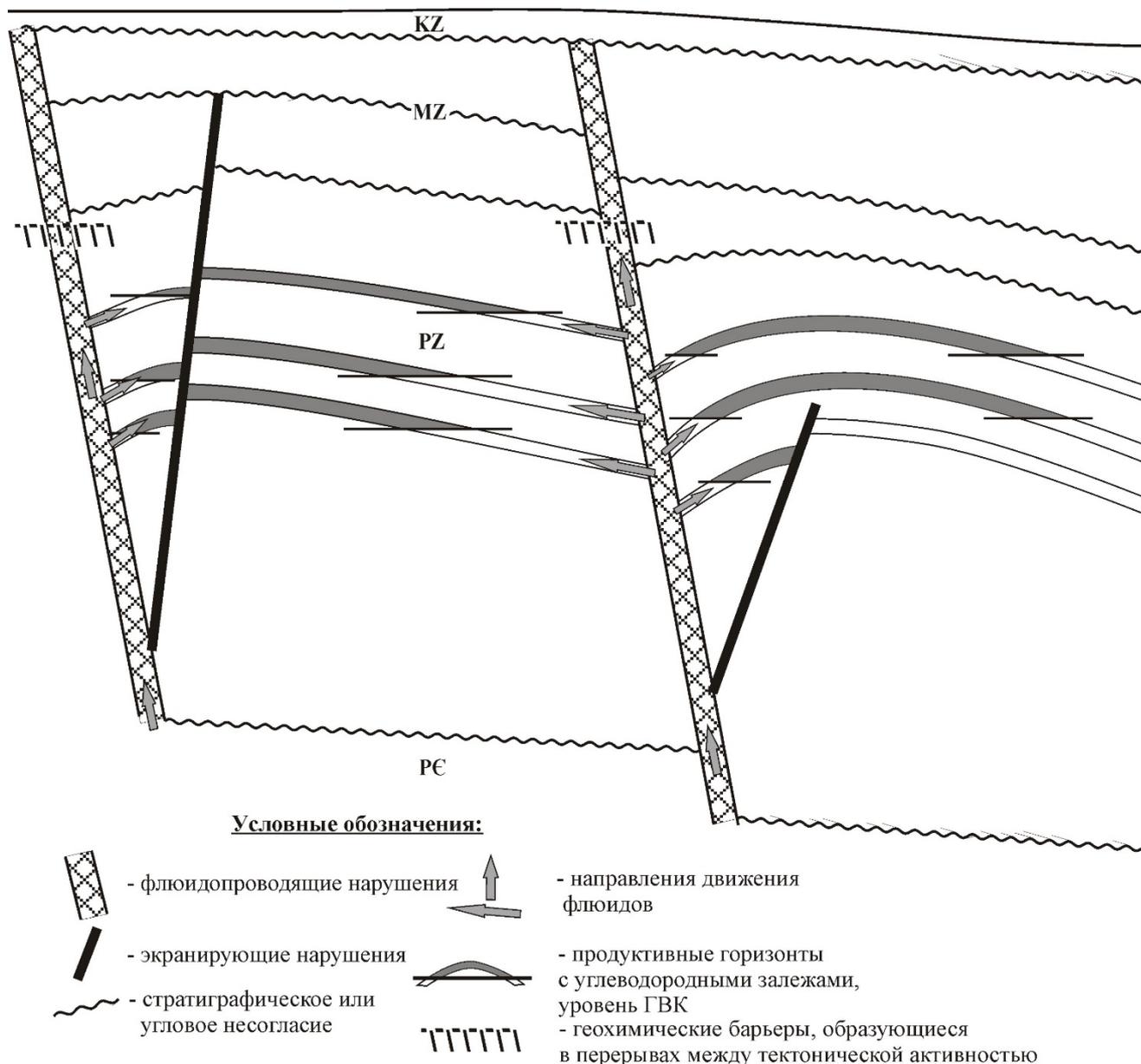


Рис. 1 - Схема заполнения ловушек углеводородами через флюидопроводящие нарушения.

что и произошло в Днепровско-Донецкой впадине в пфальцскую тектоническую фазу. При постепенном проникновении мантийных флюидов сброс давления происходит за счет их распределения по прилегающим к пути миграции породам и зонам разуплотнения, в качестве которых часто выступают радиальные тектонические нарушения, образованные во время активного роста соляных тел. Эти нарушения выполняют роль проводящих каналов как для вертикальной, так и латеральной миграции флюидов по зонам дробления. При уменьшении температуры мигрирующих растворов и флюидов растворенная соль кристаллизуется в каналах миграции, быстро и почти полностью перекрывая их. Таким образом, соляные диапиры являются своеобразными клапанами для разгрузки напряжения в подрифтовом мантийном диапире и каналами для снабжения прилегающих к штокам осадочных пород высокоактивными и высокотемпературными мантийными флюидами, что способствует катагенезу

осадочных нефтематеринских толщ и генерации УВ (4, 6). Достаточно частая импульсная активизация соляных штоков создает условия для колебания давления и динамики подземных вод, которые способствуют эмиграции УВ из материнских толщ в коллекторские породы, где они продолжают свою миграцию (7) (рис. 2).

Время последней активизации соляного штока можно определить по времени затухания в разрезе замыкающихся на него радиальных нарушений, при этом время активности различных частей штока может не совпадать. Следует отметить, что не все тектонические нарушения связаны с активностью и ростом штока, некоторые из них возникли при его деградации во время длительного перерыва активности и связаны с образованием компенсационной воронки при проседании соляных масс (8), их корни, как правило, располагаются в верхней части штока. Еще одним критерием определения времени поступления глубинных флюидов по проводящим каналам соляного штока является выявление гидротермальных преобразований в перекрывающих свод штока породах. Возраст пород, вмещающих верхнюю часть гидротермальной минерализации, как правило, соответствует времени активизации диапира.

Радиальные замкнутые на соляной штоке нарушения в комплексе с самим штоком образуют длительно действующую зону для проникновения глубинных флюидов (**зона влияния соляного штока**), поскольку при любом направлении тангенциального сжатия хотя бы один из разломов действует в режиме расширения или сдвига, способствуя миграции глубинных флюидов в верхние этажи вплоть до поверхности.

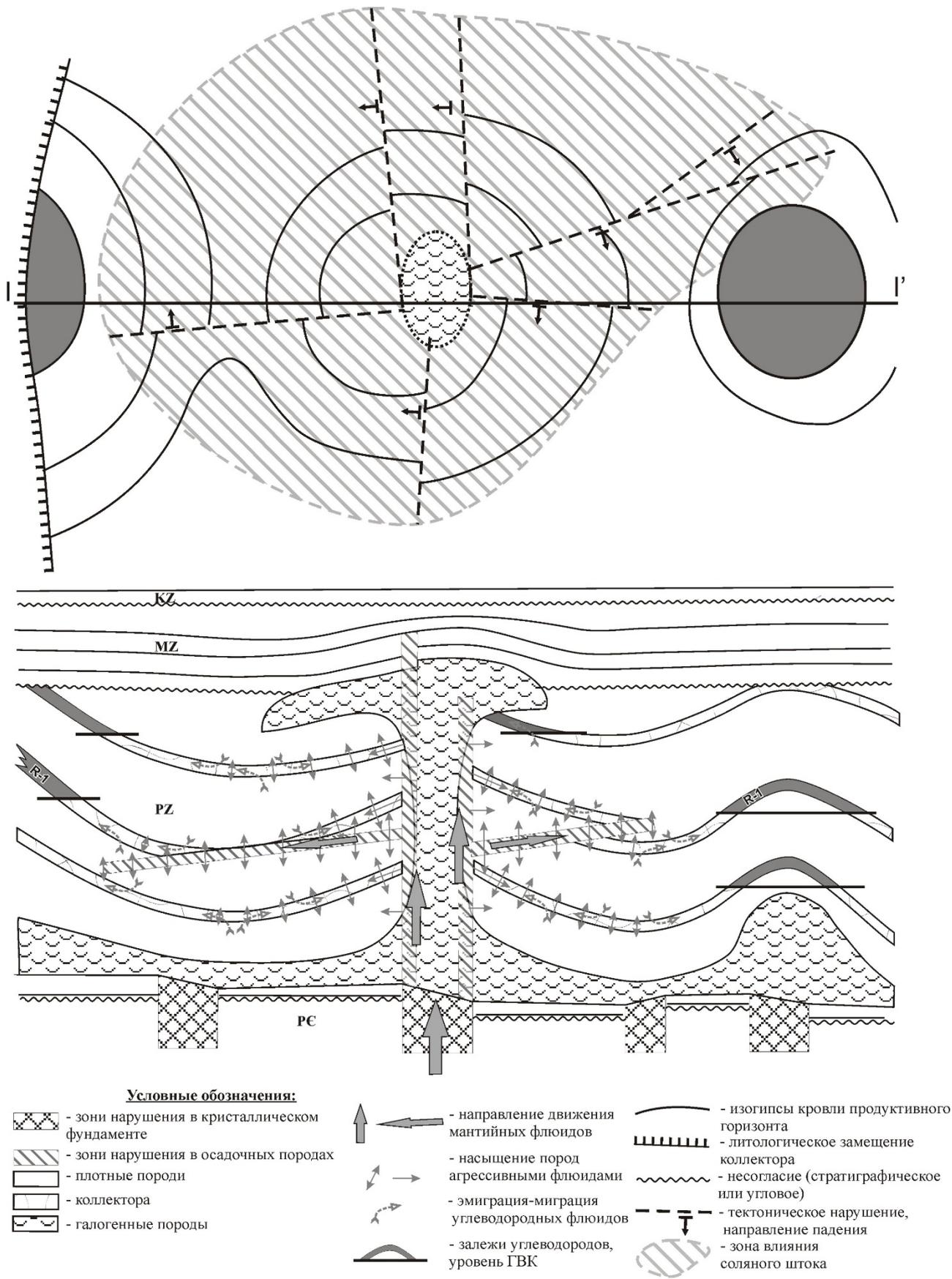


Рис. 2 – Схема соляного штока с прилегающими участками по кровле продуктивного горизонта R-1(PZ) и схематический разрез по линии I - I'.

Во время роста соляные штоки образуют антиклинальные структуры, которые объединяются в валы. Примерами в юго-восточной части ДДВ могут служить многочисленные валы вдоль осевых и приосевых рифтообразующих разломов: Кочубеевско-Староверовский, Медведовско-Касьяновский и Ефремовско-Алексеевский валы Кочубеевско-Алексеевской антиклинальной зоны, Сосновско-Беляевский, Тарасовско-Ланновский, Елизаветовский и Полтавский валы, которые кулисообразно соединяются между собой в Гриньковско-Степновскую антиклинальную зону (9). Если смотреть в целом на ДДВ, то валообразные поднятия выделяются на территории всей впадины, включая прибортовые зоны. Образовывая антиклинальные и гемиантиклинальные структуры, соляные штоки создают условия для аккумуляции УВ, выполняя роль, структурообразующего фактора для ловушек нефти и газа.

Немаловажным, если не основным, фактором аккумуляции углеводородов в ловушках является наличие слабо проницаемых пород – покрышек. Ведь залежи УВ образуются при положительной разнице между скоростью поступления флюидов в ловушку и скоростью их прохождения через барьер. Барьерами во многих случаях служат слабопроницаемые породы различного генезиса.

Наиболее распространенными в ДДВ слабопроницаемыми породами являются соли, которые имеют три толщи залегания – две в верхнем девоне: франскую и фаменскую и одну в нижней перми – в ассельском ярусе. Каждая из них имеет достаточную толщину и широкое латеральное распространение они служат надежными покрышками для залежей нефти и газа. Даже в местах тектонического прорыва зоны разуплотнения быстро залечиваются в силу физических свойств соли, как отмечалось выше.

Кроме соляных толщ покрышками могут служить пластичные породы, которые при постепенном росте тектонических напряжений не образуют разрывов, зон дробления и разуплотнения, а деформируются пликвативно без нарушения сплошности. В ДДВ это глинистые породы триаса и вышезалегающих стратиграфических подразделений. Учитывая тот факт, что глинистые породы при образовании дизъюнктивов не имеют возможности быстро залечивать зоны разуплотнения, то в этом случае герметичность ловушки нарушается и существующая залежь разубоживается вплоть до полного своего исчезновения. Для обеспечения сохранности залежей УВ, глинистые покрышки должны быть достаточно мощными, из-за относительно большей проницаемости глинистых пород по сравнению с соляными, и для создания достаточного сопротивления тектоническим напряжениям и давлению прорыва.

Следует отметить, что миграционная способность газа на 1-2 порядка выше чем у нефти, поэтому для существования газовых залежей нужна более надежная покрышка чем для нефтяных или более интенсивный миграционный поток питающий эти залежи (5, 6).

На примере ряда существующих залежей УВ рассмотрим какие факторы повлияли на их образование.

На северном борту ДДВ рядом расположены Скворцовское и Юльевское нефте-газо-конденсатные месторождения (НГКМ), на которых известны промышленные залежи УВ

в терригенных продуктивных горизонтах, начиная с коры выветривания кристаллического фундамента до башкирских отложений включительно. Все залежи экранируются субширотными, несогласными тектоническими нарушениями с предтриасовым затуханием по разрезу. Ограничение залежей по простиранию моноклинали литологическое или тектоническое. Покрышкой на месторождениях служит мощная (300-500 м) толща московского яруса и пластичные породы мезозоя (~ 600 м). Заполнение ловушек происходило, предположительно, путем вертикальной миграции флюидов через проводящий канал регионального глубинного нарушения, расположенного юго-западнее и далее латерально по восстанию коллекторов моноклинали. Это нарушение является рифтообразующим и разделяет бортовую и прибортовую зоны Днепровско-Донецкого рифта. В этих же условиях на северном борту образовались Ракитнянское, Быстрое, Островерховское, Аксютовское газоконденсатные месторождения (ГКМ).

В южной прибортовой зоне ДДВ к рифтообразующему глубинному нарушению своим южным крылом примыкает целый ряд брахиантиклинальных структур, которые через флюидопроводящий канал заполнены УВ. Так образовались Кременовское, Новоселовское, Восточно-Новоселовское Ульяновское и Голубовское НГКМ, Виноградовское и Пролетарское ГКМ, и ряд других месторождений. Углеводородные залежи этих месторождений приурочены к терригенным и карбонатным коллекторам визейского, серпуховского и башкирского ярусов, покрышкой служит толща московского яруса (~ 400 м) и пластичные породы триасового и юрского ярусов мезозоя (~ 600 м).

Для некоторых месторождений южной прибортовой зоны ДДВ, таких как Ульяновское и Голубовское НГКМ, наряду с примыканием к флюидопроводящему каналу глубинного нарушения, в заполнении ловушки УВ немаловажную роль сыграло расположение этих структур в зоне влияния Южно-Перещепинского соляного штока, который является каналом для миграции УВ.

Осевая и приосевая зоны ДДР, в особенности в центральной и юго-восточной частях, перекрываются мощной толщей пермских хемогенных отложений (до 1000 м), что способствует максимально возможной сохранности залежей УВ. Если сопоставить месторождения по количеству запасов УВ, то в бортовой и прибортовой зонах ДДВ и в тех ее частях, которые не перекрыты хемогенной соленосной толщей, преимущественно открыты месторождения с небольшим (5-10 млн т условного топлива (у.т.)) и очень маленьким (до 1 млн т у.т.) количеством запасов УВ. Территория впадины, которая перекрывается соляно-хемогенной толщей имеет месторождения УВ от средних (10-30 млн т у.т.) до уникальных (более 300 млн т у.т.). Для образования месторождений с большими запасами УВ помимо хорошей покрышки и значительных размеров ловушки необходим, так же интенсивный приток УВ. Здесь его, помимо глубинных рифтообразующих нарушений, обеспечивают многочисленные соляные диапиры с системой радиальных нарушений. Связь больших месторождений УВ с соляными штоками известна давно и многие крупные месторождения Зап. Крестищенское, Медведовское, Мелиховское, Ланновское, Зап. Сосновское и Кегичевское ГКМ,

выявлены на прилегающих к штокам антиклинальных структурах и валлообразных поднятиях, соединяющих штоки. Существуют выявленные залежи и на примыкающих к штоку моноклиналях, а также в “заданных” приштоковых блоках: Чутовское, Новоукраинское НГКМ, Распашновское ГКМ. При этом на величину запасов УВ значительное влияние оказывает интенсивность роста соляных диапиров на недавних, в геологическом понимании, этапах их развития – в мезозойскую и кайнозойскую эры. Это связано с непрерывностью движения УВ к поверхности и даже при существовании самых надежных покровов, значительно замедляющих их движение, УВ палеозойской и более древней генерации уже покинули пределы литосферы. Прослеживается пропорциональная зависимость между интенсивностью роста соляных штоков в мезозойское и кайнозойское время с величиной выявленных запасов УВ в прилегающих к ним месторождениях.

Отдельного рассмотрения заслуживают Кобзевское и Шебелинское ГКМ. Эти месторождения расположены вблизи активных соляных штоков и попадают в зону их влияния. Кобзевское месторождение попадает в зону влияния Павловского и Сосновского соляных штоков и связано с ними тектоническими разрывами, которые при периодической активизации штоков служили флюидопроводящими каналами для заполнения ловушек на Кобзевской антиклинальной структуре. Сама же Кобзевская структура, как предполагают, образовалась в результате роста Кобзевского криптодиапира, который и был структурообразующим фактором.

Шебелинское ГКМ, уникальное по величине запасов, расположено над Шебелинским криптодиапиром и попадает в зону влияния трех соляных штоков, т.е. связано тектоническими нарушениями с Алексеевским, Восточно-Алексеевским и Картамышским соляными штоками. Заполнение огромной антиклинальной ловушки над Шебелинским структурообразующим криптодиапиром, по всей вероятности, происходит по тектоническим каналам во время роста очень активных диапиров, которые имеют палеогеновый уровень прорыва соли и перекрываются эоценовыми породами. Восполнение запасов газа на Шебелинском месторождении не исключается и в настоящее время, поскольку при ограничении отбора газа до ~2365 млн м<sup>3</sup> в год в 1991-2003 гг. произошла стабилизация пластового давления на уровне 3,6 МПа (10). Стабилизация пластового давления в залежи говорит о том, что объемы отбора газа сравнялись с объемами его восполнения.

Шебелинская антиклинальная структура имеет большую площадь, которая фактически является “газосборной”, к ней подходит много флюидопроводящих каналов как от активных соляных штоков, так и глубинные рифтообразующие нарушения, этими факторами, вероятно и определяется количество и частичная восполняемость углеводородов на месторождении.

К месторождениям, газовые залежи которых заметно восполняются, можно отнести Распашновское, Западно-Крестищенское, Мелиховское, Кегичевское ГКМ и Чутовское НГКМ, здесь суммарное превышение, оцениваемых в настоящее время по методу падения пластовых давлений, дренируемых запасов над первоначальной их оценкой составляет до 20 млрд м<sup>3</sup>.

Исходя из сказанного, можно предположить, что в связи с непрерывной дегазацией недр, разгрузкой глубинных агрессивных флюидов и генерации УВ из нефте-газоматеринских толщ, в современное время мы можем ожидать не только восполнение УВ существующих месторождений, но и непрерывное, пусть медленное, образование новых залежей на путях миграции.

**Выводы.** При составлении проектов поисково-разведочного бурения рекомендуется:

1. Выявить предположительные пути поступления глубинных флюидов в объекты поиска или разведки. Наличие ниже по падению пластов в пределах исследуемой площади или за ее пределами флюидопроводящих тектонических нарушений или соляных штоков. Определить время последней их активизации.
2. Определить возможные пути миграции УВ-флюидов от источников поступления вверх по восстанию проницаемых коллекторских пластов (латеральная миграция).
3. На путях миграции УВ выделить возможные ловушки, дизъюнктивно экранированные, литологические, стратиграфические и др.
4. Оценить объём ловушки и надежность покрывающей коллекторские породы. Эти параметры определяют насколько в данной ловушке замедляется движение флюидов и возможность аккумуляции значительных их объёмов до момента достижения давления прорыва.
5. Сопоставить качество выявленных ловушек с интенсивностью и временем активизации источников поступления УВ-флюидов и сделать вывод о целесообразности и месте постановки поискового или разведочного бурения.

Для уже выявленных ловушек, убедившись в их качестве, необходимо проанализировать пути возможного заполнения по приведенной схеме.

#### **References:**

1. *Tereshchenko VA. Hydrogeological conditions of gas accumulation in the Dnieper-Donets Basin: monograph. Kharkov, 2015; 244.*
2. *Lurie AI. About the principles of the coexistence of hydrodynamic and geothermal anomalies in petroleum provinces: Bulletin of Kharkiv National University, Series: "Geology-geography-ecology", 2011, № 956; 38-42.*
3. *Lurie AI. The role of geothermal anomalies of hydrocarbon deposits for the assessment of oil and gas content: Gas industry, Series: geology and exploration of gas and gas condensate fields. Moscow, 1987, Review information issue 8; 50.*
4. *Zagorodnov AV. Intrusive introduction and salt diapirs as channels of heat and mass transfer: Bulletin of V.N. Karazin Kharkiv National University, № 1084, Kharkiv, 2013; 65-71.*
5. *Neruchev SG, Smirnov SV. Estimation of potential hydrocarbon resources based on modeling the processes of their generation and the formation of oil and gas fields: Oil and gas geology. Theory and practice. [Internet] Available from: <http://www.ngtp.ru/rub/1/013.pdf/> 2007 (2).*
6. *Zagorodnov AV. Criteria for the placement of oil and gas deposits in the Dnieper-Donets Basin, taking into account salt tectonics: Bulletin of V.N. Karazin Kharkiv National University, Series "Geology-geography-ecology", №44 Kharkiv, 2016; 16-26.*
7. *Korzhev YuV. Problems of oil prospecting geochemistry and generalizing scheme for the migration of hydrocarbon fluids: News of Tomsk Polytechnic University, Tomsk, 2011, V.318, №1; 116-122.*

8. *Vysochansky IV. Scientific fundamentals of the search for unscrupulous hydrocarbon traps in the Dnipro-Donbas alecogene: monograph. Kharkiv, 2015; 236.*
9. *Gavrish VK, Zabello GD, Lukin AE, Ryabchun LI. Geology and petroleum potential of the Dnieper-Donets Basin. Deep structure and geotectonic development. Kyiv, 1989; 208.*
10. *Krivulya SV. Features of geological structure and stock build-up in the process of development of large deposits on the example of Shebelinsky gas condensate deposit: Bulletin of the Kharkiv National University, 2012, No. 1033; 15-30.*