

УДК 546.29:556.314

О ЗАКОНОМЕРНОСТЯХ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ГЕЛИЯ В ОСАДОЧНОМ ЧЕХЛЕ ЮГО-ВОСТОКА БЕЛАРУСИ

А.М. ГУМЕН

Центр геофизического мониторинга НАН Беларуси

Введение

Изучение гелиевого поля осадочного чехла и кристаллического основания Беларуси является актуальной задачей. Высокая информативность гелия для решения разнообразных геологических задач доказана по многим регионам, что обусловлено химической инертностью и значительной миграционной способностью гелия, контрастностью гелиевого поля в осадочном чехле, сквозь который этот газовый компонент мигрирует из кристаллического фундамента в атмосферу, неся многостороннюю информацию о динамике подземных флюидов. В настоящей работе характеризуется гелиевое поле юго-востока Беларуси на основе фактического материала, полученного в результате опробования более 200 водоисточников (колодцев, скважин водохозяйственного и бальнеологического назначения, разведочных скважин) и более 150 проб попутного и нефтерастворенного газа из нефтяных залежей Припятского прогиба. Использовались также данные предшествующих исследований, опубликованные в работах [1-6].

Район исследований расположен преимущественно на территории Припятского прогиба и на участках его сочленения с Воронежской антеклизой, Брагинско-Лоевской и Жлобинской седловинами. Кристаллический фундамент разбит на блоки многочисленными разрывными нарушениями, наиболее значительные из которых (Северо-Припятский, Северо-Днепровский, Речицкий, Александровский и др.) имеют мантийное заложение. Мощность осадочного чехла, представленного различными типами терригенных и карбонатных пород, варьирует от 400 до 6000 м [7].

Методика исследований

Гелиеметрические работы включали полевое опробование скважин, лабораторные и полевые измерения содержания гелия в свободном газе и воде, сопоставление полученных данных с геолого-геохимической информацией. Опробовались все доступные разведочные, эксплуатационные и бальнеологические скважины на территории Припятского прогиба и Жлобинской седловины. Для более детальных исследований на интересных участках также опробовались неглубокие водяные скважины и колодцы. Для изучения распределения гелия по глубине привлечены анализы проб газа, отобранных из различных интервалов в процессе бурения и испытания пластов и из эксплуатационных скважин, а также опубликованные в [1, 2] данные. Для определения содержания гелия в пробах применялся индикатор гелия – магниторазрядный ИНГЕМ-1, подробное описание которого дано в [8]. Анализ гелиеметрических данных проводился в комплексе с геофизическими, структурно-тектоническими и гидрогеологическими материалами по району работ.

Обсуждение полученных результатов

Проведенные площадные гелиеметрические работы показывают, что на подавляющей территории исследований за пределами зон влияния тектонических разрывных структур содержание водорастворенного гелия близко к атмосферному

($5-7 \cdot 10^{-5}$ м/л для грунтовых вод и $5-10 \cdot 10^{-5}$ м/л для первых от поверхности напорных водоносных горизонтов). Это, с одной стороны объясняется сильной экранирующей способностью мощного осадочного чехла и, в частности, соленосных и глинистых отложений девона в пределах Припятского прогиба. С другой стороны, близкое к атмосферному содержание гелия приповерхностных подземных вод свидетельствуют об их инфильтрационной природе на подавляющей части изучаемой территории. Отсутствие повышенных гелиевых концентраций над атмосферными значениями указывает на то, что интенсивность инфильтрационного питания составляет более 90 % от общего расхода потоков грунтовых вод. Так, на участке, с севера примыкающем к Припятскому прогибу, где мощность осадочного чехла многократно уменьшается, также наблюдаются низкие значения гелиевого поля. Незначительные отклонения от атмосферного содержания гелия в грунтовых водах отмечены на участках разгрузки подземных вод в долинах рек Сож и Днепр, причём значительно большие отклонения от атмосферного содержания прослеживаются в названных пунктах по неглубоким напорным водоносным горизонтам: $15-20 \cdot 10^{-5}$ м/л, что указывает на большую изолированность этих горизонтов от поверхностных вод.

При наблюдаемом закономерном росте содержания гелия с глубиной (рис. 1) в зоне активного водообмена в интервале глубин 210-300 м происходит скачкообразное увеличение содержания гелия, что обусловлено наличием в разрезе мощной водоупорной толщи среднеюрских глин, затрудняющей водообмен между ниже- и вышезалегающими водоносными горизонтами.

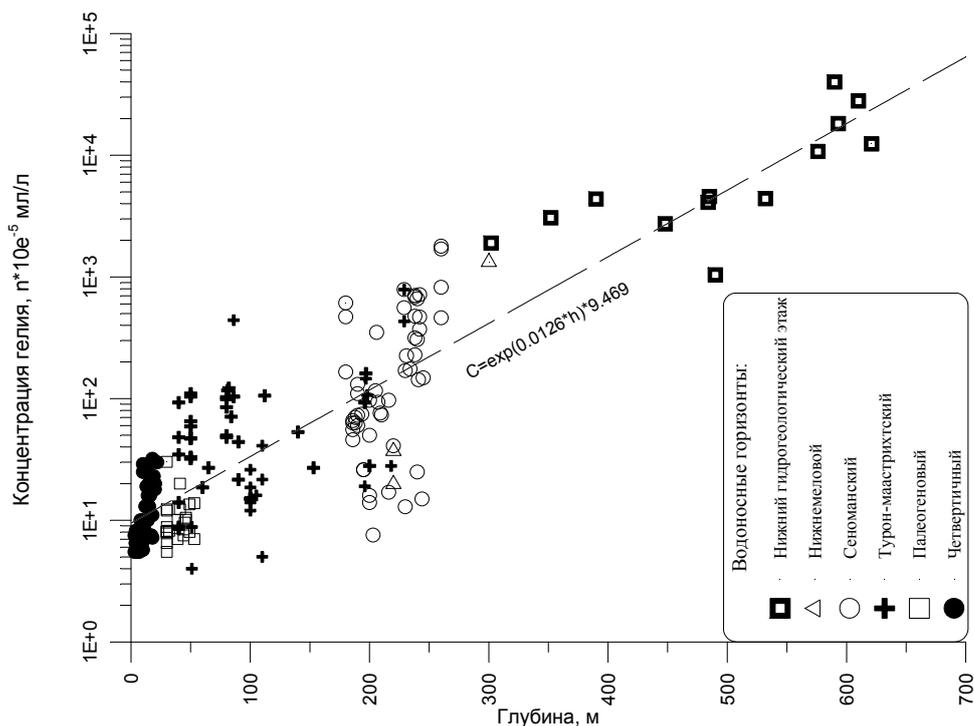


Рис. 1. Распределение концентраций водорастворенного гелия в верхнем и нижнем гидрогеологических этапах юго-востока Беларуси

На участках глубинных разломов, которые, как известно, затухают в большинстве случаев в верхнедевонских отложениях, обнаружены интенсивные гелиевые аномалии. Наиболее интенсивные из них расположены в пределах Александровско-Борщевской и Речицкой структур Припятского прогиба. Самая контрастная аномалия ($1950 \cdot 10^{-5}$ м/л) наблюдается в водах скважины глубиной 13 м (д. Остров). Она проявляется в грунтовых (до $40 \cdot 10^{-5}$ м/л) и даже в придонном слое поверхностных

водотоков. Максимальные значения водорастворенного гелия приурочены к сводовой части Александровской структуры, контролируемой субширотным высокоамплитудным разломом и осложненной разломом северо-восточного простирания. Эти разломы обусловили наличие зон аномальной проницаемости осадочной толщи для глубинных вод. Выявленные гелиевые аномалии однозначно указывают на продолжающееся влияние глубинных разломов на гидродинамику верхних горизонтов.

В зоне затрудненного водообмена наибольшее содержание гелия зафиксировано за пределами Припятского прогиба (Гомель, Костюковка), что обусловлено значительно более близким положением точек опробования до кристаллического фундамента. С другой стороны, примечательным является факт меньших концентраций водорастворенного гелия в кристаллическом фундаменте Воронежской антеклизы (г. Гомель) по сравнению с нижней частью осадочного чехла Жлобинской седловины (Костюковка). Данный факт допускает наличие дополнительного глубинного корового потока и повышенной проницаемости земной коры участка Жлобинской седловины требует дополнительного изучения с применением изотопного гелиевого отношения He^3/He^4 . Аналогичный вывод можно сделать и для участка Васильевка (Северо-Днепровский краевой разлом Припятского прогиба). Концентрация водорастворенного гелия в интервале 609-633 м осадочного чехла (верхнедевонские отложения) больше, чем в водах кристаллического фундамента на участке Воронежской антеклизы (скважина № 1, поликлиника № 8, г. Гомель). Можно также предполагать наличие повышенного корового потока флюидов и на участке Северо-востока Припятского прогиба (Александровская площадь), где содержание гелия на глубине 478-492 м существенно выше, чем на тех же глубинах участка Воронежской антеклизы (г. Гомель). При этом расстояние от точки опробования до кристаллического фундамента в п. Александровка составляет более 4-х км, а в г. Гомеле – не более 200 м.

Следует отметить также резкую дифференцированность поля гелия как в кристаллическом фундаменте, так и на равнозначных глубинах осадочного чехла в пределах территории. Это, безусловно, отражает блоковую раздробленность фундамента, определяющую распределение высокопроницаемых зон в нём самом и вышележащем осадочном комплексе.

Большой интерес в настоящих исследованиях представляет распределение концентраций гелия в нижнем гидрогеологическом этаже Припятского прогиба как на участках нефтеносности, так и в пределах непродуктивных зон, а также в кристаллическом основании. На текущий момент мы можем только косвенно судить о концентрациях гелия в кристаллическом фундаменте на основе опробования вод из протерозойских вод. С учётом этих фактов гелиеносность пород кристаллического основания может достигать первых десятков мл/л.

Распределение концентраций гелия в нефтяном газе варьирует в пределах $n \cdot 10^{-1} - 10^{-4}$ % об. (рис. 2), причём, верхний предел несколько раздвинут по сравнению с результатами имеющихся опубликованных данных. Можно отметить некоторое превышение объёмной концентрации гелия у подсолевых нефтей по сравнению с межсолевыми, что также отвечает общей тенденции увеличения гелия с глубиной. Объёмные концентрации гелия значительно выше у рассолорастворенных газов (рис. 3). Они варьируют в пределах первых единиц объёмных процентов в протерозойских и подсолевых девонских рассолах, долей единиц – первых единиц об. % в межсолевых рассолах и сотых-десятых долей об. % для верхнесолевого комплекса. Сравнительная характеристика статистических параметров гелия в рассолах и нефтях приведена в табл. 1.

Статистические параметры содержания гелия в рассолах и нефти

Объект измерений	Объём выборки	Среднее	Медиана	Минимум	Максимум	Размах	Дисперсия	Стандартное отклонение	Нижняя квантиль	Верхняя квантиль
Рассолы	74	0,78	0,3	0,01	10,47	10,46	2,57	1,6	0,12	0,69
Нефть	214	0,041	0,032	0,0005	0,53	0,53	0,0025	0,05	0,015	0,047

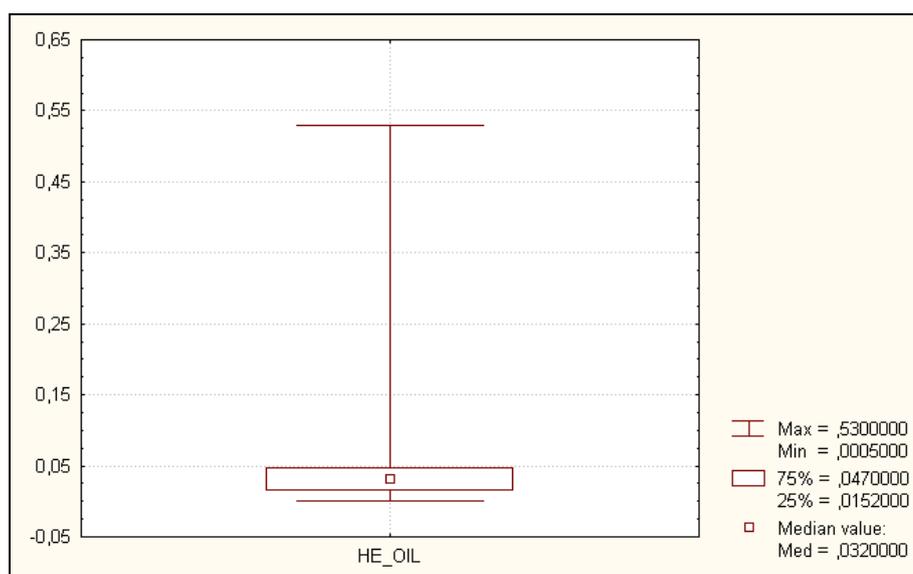


Рис. 2. Бокс-диаграмма распределения содержания гелия в нефтяных газах Припятского прогиба

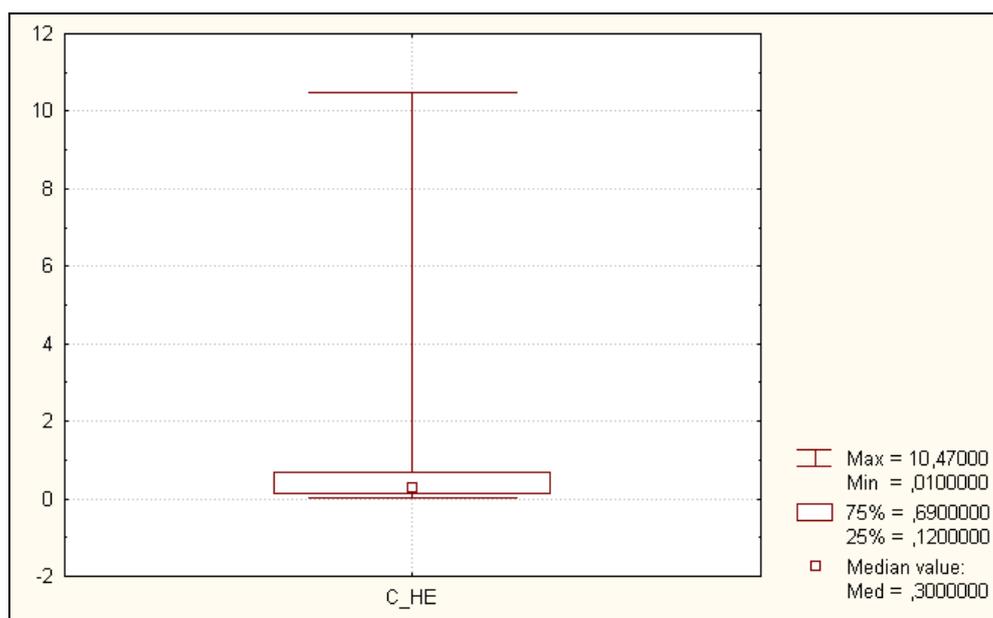


Рис. 3. Бокс-диаграмма распределения содержания гелия в газах рассолов

Наблюдаемая резкая дифференциация гелия в нефтяном (попутном) газе может быть обусловлена как первоначальными геологическими причинами, так и процессами, сопутствующими разработке и эксплуатации нефтяных залежей.

Интересной особенностью гелиевого поля, которая находит всё большее подтверждение по мере поступления данных по нижнему гидрогеологическому этажу, является нарушение закономерности постоянного увеличения концентрации гелия с глубиной. На это обстоятельство указывает и очень слабая корреляционная связь между концентрацией гелия в рассолах межсолевых и подсолевых отложений с глубиной от поверхности земли, так и от расстояния до кристаллического основания. Зафиксированные факты аномально низких значений концентраций гелия, включая и концентрации гелия в попутных газах нефтяных месторождений (10^{-4} – 10^{-3} об. %), не отвечают общей тенденции гелиевого поля и могут служить признаком отсутствия гидродинамической связи с более глубокими зонами осадочного чехла. Последующие изотопные исследования могли бы выяснить природу гелия с низкими его концентрациями. Вполне вероятно, что этот гелий сингенетичен подземным водам, образованным в результате отжатия поровых растворов.

Интересным явлением для данной области исследований, охватывающей Припятский прогиб, склон Воронежской антеклизы, Брагинско-Лоевско-Жлобинскую седловину, т. е. структуры с различными глубинами залегания кристаллического фундамента, является приблизительно одинаковый порядок положительных гелиевых аномалий в приповерхностных водоносных горизонтах (10^{-2} – 10^{-4} мл/л). Более того, наибольшей интенсивности гелиевые аномалии достигают в Припятском прогибе на участках, где глубина залегания кристаллического основания достигает более 4000 м. Именно в Припятском прогибе в разрезе залегают мощные галогенные и глинистые толщи, которые экранируют потенциально гелий-генерирующие отложения, расположенные в нижнем гидрогеологическом этаже. Поэтому установленные здесь интенсивные гелиевые аномалии, приуроченные к достоверным разломным зонам (Речицкая и Александровская), предполагают такое сочетание гидрогеологических и тектонических факторов, которые обеспечивают и энергетические источники субвертикального массопереноса, и соответствующие проницаемые пути разгрузки. В такой ситуации вполне очевиден вывод о реальной значимости современных геодинамических (деформационных) процессов в поддержании зон разгрузки в проницаемом состоянии. Пространственное совпадение зон повышенной геодинамической активности, которая проявляется в аномальных смещениях земной поверхности и значительных временных вариациях физических полей (геомагнитного и гравитационного), и участков с наиболее интенсивными гелиевыми аномалиями, указывает на общий генетический источник рассматриваемых геохимических и тектонических процессов. По-видимому, таким источником является «аномальная» нижняя часть земной коры и верхней мантии на севере Припятского прогиба.

Что касается интенсивных гелиевых аномалий в пределах Речицкой и Александровской структур Припятского прогиба, весьма высока вероятность значительного вклада глубинного (нижнекорового или мантийного) источника в их формировании, подтверждением чему служат пока немногочисленные определения изотопного гелиевого отношения He^3/He^4 , составляющего в районе Речицкого разлома от 7,8 до $22 \cdot 10e^{-8}$ при фоновых значениях $3 \cdot 10^{-8}$. Отмечается [9], что отклонение от фоновых значений рассматриваемого изотопного соотношения выше в подсолевых отложениях в сравнении с солевой толщей, что говорит о большей степени разбавления глубинного флюида и «стирании» изотопной метки в верхних гидрогеологических этажах.

Выводы

Приведенные особенности гелиевого поля юго-востока Беларуси указывают, что двумя главными факторами дифференциации гелия, в особенности в верхнем гидрогеологическом этаже, являются гидрогеодинамический и тектонический. Первый

определяет энергетический потенциал флюидных потоков, а второй – размещение путей фильтрации, по которым происходит перемещение гелийсодержащих флюидов. Находящиеся в зоне интенсивного водообмена положительные гелиевые аномалии отражают сосредоточенные зоны активной восходящей миграции через различного рода структурно-литологические нарушения (зоны разломов, литологические окна и т. д.). Эти обстоятельства определяют потенциальные возможности выяснения особенностей субвертикального и вертикального массопереноса в осадочном чехле. На примере массовых опробований многочисленных неглубоких водных источников видно, что мощность самой верхней зоны с содержанием гелия, равновесным атмосферному, определится интенсивностью водообмена маломинерализованных вод с поверхностными водами и физическим состоянием флюидоупоров, разделяющих водоносные комплексы и горизонты. Наличие здесь гелиевых аномалий отражает не только нарушение герметичности и усиление проницаемости подстилающих пород, но и увеличение вертикального градиента фильтрации. В нижнем гидрогеологическом этаже характерная для зоны активного водообмена закономерность нарастания содержания гелия с глубиной может нарушаться, приводя к появлению гелиевых инверсий, свидетельствующих о гидродинамической изолированности этих зон от более низких частей разреза. Наблюдаемая резкая дифференциация гелиевого поля в нефтяных газах может быть обусловлена как первоначальными геологическими причинами, так и процессами, сопутствующими разработке и эксплуатации нефтяных залежей.

Список литературы

1. Грибик Я.Г. Некоторые закономерности распределения инертных газов в подземных водах и нефтях Припятского прогиба // Вопросы нефтяной геологии. – Мн. – 1975. – С. 227-230.
2. Кудельский А.В., Бурак В.М. Газовый режим Припятского прогиба. – Мн.: Наука и техника, 1982. – 173 с.
3. Атанасян С.В., Багдасарова М.В. и др. Геохимическое исследование поверхностных вод в районе Припятского геодинамического полигона // Фазовые равновесия и миграция углеводородов, 1986. – С. 55-62.
4. Гумен А.М., Пинчук А.П. и др. Результаты водногелиевых исследований на северо-востоке Припятского прогиба и сопредельной территории // Поиски и освоение нефтяных ресурсов Республики Беларусь: Сб. научных трудов. Вып. 2. – Гомель: БелНИПИнефть. – С. 64-69.
5. Гумен А.М., Лукша В.Н. Использование гелиеметрии подземных вод при исследовании устойчивости геосистем к техногенной нагрузке / Тезисы докладов научно-практической конференции «Устойчивость природной среды в условиях техногенеза». – Мн., 1997.
6. Гумен А.М., Гусев А.П. Газогеохимические индикаторы геодинамической активности зон глубинных разломов на юго-востоке Беларуси // Литосфера. – 1997. – № 6. – С. 140-149.
7. Тектоника Белоруссии / Под ред. акад. Р.Г. Гарецкого. – Мн.: Наука и техника, 1976. – 200 с.
8. Яницкий И.Н. Гелиевая съемка. – М.: Недра. – 1979. – 96 с.
9. Гордиенко В.В., Завгородняя О.В. Изотопный состав гелия в породах и природных газах земной коры территории Украины // Геофизический журнал. – 1997. – № 4. – Т. 19. – С. 24-36.