

УДК 662.66:662.767.1(430)
ВОЛКОВА Т.П., докт. геол. наук,
АЛЕХИН В.И., докт. геол. наук,
СИЛИН А.А.
(ДонНТУ)

Выявление локальных газоносных структур методом тренд-анализа

Рассмотрена методика выявления локальных структур методом тренд-анализа. Выполнена оценка размера выявляемых структур в зависимости от степени уравнения тренда. Проведена заверка выявленных структур методом газовой съемки.

Ключевые слова: газоносность, флексуры, поверхность тренда, региональная и локальная составляющие изменчивости, степень уравнения тренда.

The revealing of local gas-bearing structures by the trend-analysis method

The technique of revealing of local structures is considered by a trend-analysis method. The estimation of the size of revealed structures depending on degree of the equation of a trend is executed. Authentication of the revealed structures by a method of gas shooting is spent.

Key words: gas content, flexure, the surface of the trend, regional and local components of variability, the degree of trend equation.

Проблема использования шахтного метана, как одно из возможных решений в создании энергетической независимости Украины, в настоящее время особенно актуальны. С другой стороны, экологические проблемы, возникающие с ограничением выброса в атмосферу парниковых газов, связаны с постоянным выделением метана из горных выработок в Донбассе. Но особенно необходимым является решение задачи прогноза локальных скоплений углеводородных газов с целью предотвращения газодинамических явлений на шахтах Донбасса.

Проблеме обеспечения безопасности действующих шахт по газовому фактору постоянно уделяется значительное внимание. Но, тем не менее, каких либо серьезных успехов в этой области нет. Усиленная ставка на совершенствование систем и технических средств вентиляции к желаемым результатам не приводит. Систематические крупные аварии, происходящие в высоконагруженных забоях, подтверждают этот вывод. Развитие аварийных ситуаций на шахтах Краснолиманской, им. А.Ф.Засядько, им. А.А.

Скочинского и др. показывают, что наличие мощных систем подземной дегазации не решает проблемы.

Геологами установлен факт приуроченности скоплений метана к определенным структурам и системам разрывных нарушений, определенному литологическому составу пород, геомеханическим особенностям формирования разгруженности массива при отработке пласта и ряду других локальных геологических факторов. Оценка влияния этих факторов в каждом конкретном угольном пласте открывает новые перспективы прогноза локальных скоплений метана [1].

Степень тектонической нарушенности угленосной толщи является главным фактором распределения газа в угленосной толще Донецкого бассейна. Дизъюнктивные структуры локализуются преимущественно в замках пликативных тектонических структур. Установлена связь локализации газоносных зон повышенной трещиноватости со степенью тектонической нарушенности шахтных полей Донбасса. Как правило, зоны повышенной трещиноватости приурочены к перегибам пластов на крыльях, к узким приосевым частям и периклиналям складок [2]. Известны региональные и локальные составляющие этого фактора.

В пределах Донбасса в региональном плане распространены газоносные, углегазоносные, газоугленосные и угленосные зоны. Газоносная зона включает Бахмутскую и Кальмиус-Торецкую котловины, в которых отложения карбона залегают под соленосными образованиями нижней перми. Донецко-Макеевский угленосный район расположен в южной части юго-западного крыла Кальмиус-Торецкой котловины в зоне мелкой складчатости. Наряду с пологими субширотными складками здесь развита более молодая, наложенная система асимметричных складок субмеридионального простирания. Это привело к появлению целого ряда куполов и брахисинклиналей. Основная масса газа приурочена к приосевым частям антиклинальных структур, если они не эродированы, а также к зонам их флексуорообразных нарушений. Наиболее значительные

субмеридиональные флексуры расположены в центральной и восточной частях района – Ветковская, Чайкинская, Калиновская, Ясиновско-Ждановская. Они имеют амплитуды от 400-600 до 1200-1800м. По размерам они относятся к классу средних по величине, переходя постепенно в более мелкие и пологие структуры [3].

В локальном плане Ветковская флексура осложнена серией надвигов, а также вторичных флексурных складок. Ось синклинали складки проходит примерно в 1,5 км восточнее Ветковской флексуры [2]. Угленосные отложения свит C_2^6 и C_2^7 , слагающих Ветковскую флексуру, имеют повышенную трещиноватость и высокую газоносность. На приподнятом крыле Ветковской флексуры расположено поле шахты им. А. Ф. Засядько, которое характеризуется большим числом газифицированных скважин [3].

По данным геологоразведочных работ в пределах поля шахты им. А. Ф. Засядько по структурно-тектоническому фактору четко выделяются два блока: восточный и западный. Основные тектонические дислокации приурочены к центральной части и западному флангу шахтного поля. Западное крыло поля шахты им. А.Ф. Засядько опущено. Здесь горными работами по пластам m_3 и l_1 обнаружена мощная (~ 150м шириной) зона мелкоамплитудной нарушенности, простирающаяся в северо – восточном направлении. Восточное приподнятое крыло характеризуется минимальным проявлением разрывной тектоники и большим развитием пликтивных структур - положительных и отрицательных.

Для выявления структурных ловушек свободного метана в угленосной толще шахты им. А.Ф. Засядько был проведен тренд-анализ почвы рабочего угольного пласта m_3 .

При решении многих геологических задач типичной является ситуация, когда наблюдаемый результат рассматривается как следствие двух геологических факторов – регионального и локального. Первый отражает общую геологическую обстановку, а второй — более мелкие, локальные отклонения от региональных закономерностей. В таких случаях обычно

говорят о систематической и случайной составляющих изменчивости свойства, которые связывают с понятиями регионального тренда и локальных аномалий (остатков тренда). Математические методы разделения двух компонент - систематической и случайной, получили в геологии название тренд-анализа или анализа поверхностей тренда. Модель поверхности тренда для исследования свойства (Z) имеет вид:

$$Z = f(x_i, y_i) + \eta_{ij} + \zeta_{ij}$$

где $f(x_i, y_i)$ — региональная компонента;

η_{ij} — локальная компонента;

ζ_{ij} — случайная компонента.

На практике последние два члена совмещаются и исследуются в совокупности. При подборе поверхности тренда к структурным данным (отметкам кровли или подошвы пласта) случайную компоненту нельзя отделить от локальной. В связи с тем, что структурные поверхности обычно характеризуются плавными изменениями, можно считать, что случайная компонента мала по сравнению с локальной. Поэтому в большинстве случаев отклонения структурной поверхности от регрессионной отражают не величину случайной компоненты ζ_{ij} , а величину локальной компоненты η_{ij} . По смыслу же тренд-анализа локальная компонента не является случайной, а ее значения чаще всего коррелированы с региональной. Очень часто в геологическом отношении представляют интерес как раз области коррелированных остатков тренда. Анализ карт как раз и основывается на разделении результатов наблюдений на указанные две части с последующей интерпретацией каждой из них. В этом случае основной интерес сосредоточен на локальной компоненте, на поиске областей отклонения от тренда в определенных направлениях. Такой анализ облегчает поиск структурно-тектонических ловушек, представляющих интерес в распределении газа. Места с повышенными значениями остатков тренда характеризуются либо повышенной трещиноватостью, либо разрывными нарушениями.

Тренд описывается с помощью различных моделей [5]. Понятия «региональный» и «локальный» весьма субъективны и относительны. Они зависят от размеров изучаемой площади и от цели исследования. Так, региональные закономерности, выявляемые на локальных структурах, следует рассматривать как локальные аномалии, если изучаются более крупные структуры данной области. Если интерес сосредоточен на данной структуре, то установленные рассматриваются как региональный тренд. Поэтому при построении аппроксимирующей поверхности для почвы пласта большое значение имеет степень уравнения тренда.

Расчеты поверхностей тренда вычислялись с помощью пакета SURFER на основе сеточного файла, рассчитанного методом полиномиальной регрессии. Метод полиномиальной регрессии относится к категории сглаживающих интерполяторов, поскольку построенная поверхность не проходит через все экспериментальные точки. Весовые коэффициенты точек наблюдения при этом задаются так, чтобы поверхность, полученная в результате интерполяции, была как можно более гладкой. Точность приближения плоскости тренда к точкам наблюдения оценивается величиной среднего значения остатка и его дисперсией.

Для анализа морфометрии кровли угольного пласта на основе его высотных отметок по скважинам последовательно выбираем вид уравнения полиномиальной регрессии, начиная от линейного и заканчивая высокими степенями (четвертая, пятая и выше). Всего в выборку отобрано 88 скважин, расположенных на поле шахт им. Засядько, по пласту m_3 . Затем вычисляем остатки по формуле:

$$Z_{res} = Z_{dat} - Z_{grd},$$

где Z_{res} - значение остатка;

Z_{dat} - значение Z -координаты точки наблюдения;

Z_{grd} - значение Z -координаты точки поверхности тренда.

Это вертикальные разности между Z -координатами точек исходного файла данных и соответствующими значениями интерполяционной сеточной

функции, вычисленными по уравнению тренда в точках с теми же координатами X и Y . Точность представления исходных данных интерполяционной поверхностью отражается величиной среднего, стандартного отклонения, минимального и максимального значения остатков, приведенных в таблице 1.

Таблица 1. Оценка результатов тренд анализа

Вид уравнения тренда	Статистика по остаткам тренда (среднее значение стандартное отклонение)	Минимальное и максимальное значения остатков тренда	Площади локальных структур (антиклиналь, синклиналь, км ²)
линейное	Среднее: -0.000002 стандартное отклонение: 78.61	Min = -148.47 Max =263.83	антиклиналь:23,74 км ² синклиналь: 24,74 км ²
квадратичное	среднее: 0,000002 стандартное отклонение: 44.94	Min = -148.56 Max =202.436	антиклиналь:29,31 км ² синклиналь: 19,09 км ²
кубическое	Среднее: 0,000017 стандартное отклонение: 39.65	Min = -109.42 Max =214.61	антиклиналь:22,94 км ² синклиналь: 25,50 км ²
4-ая степень	Среднее: - 4.35 стандартное отклонение: 90.41	Min = -249.298 Max = 266.12	антиклиналь:26,92 км ² синклиналь:21,58 км ²
5-ая степень	Среднее: - 6.44 стандартное отклонение: 103.10	Min = -277.06 Max = 289.07	антиклиналь:26,95 км ² синклиналь:21,60 км ²
6-ая степень	Среднее: - 8.92 стандартное отклонение: 116.10	Min = -304.62 Max = 311.84	антиклиналь:26,95 км ² синклиналь: 21,66 км ²

Как видно из таблицы, оптимальное приближение достигается для кубической поверхности, построение которой представлено ниже (рис. 1).

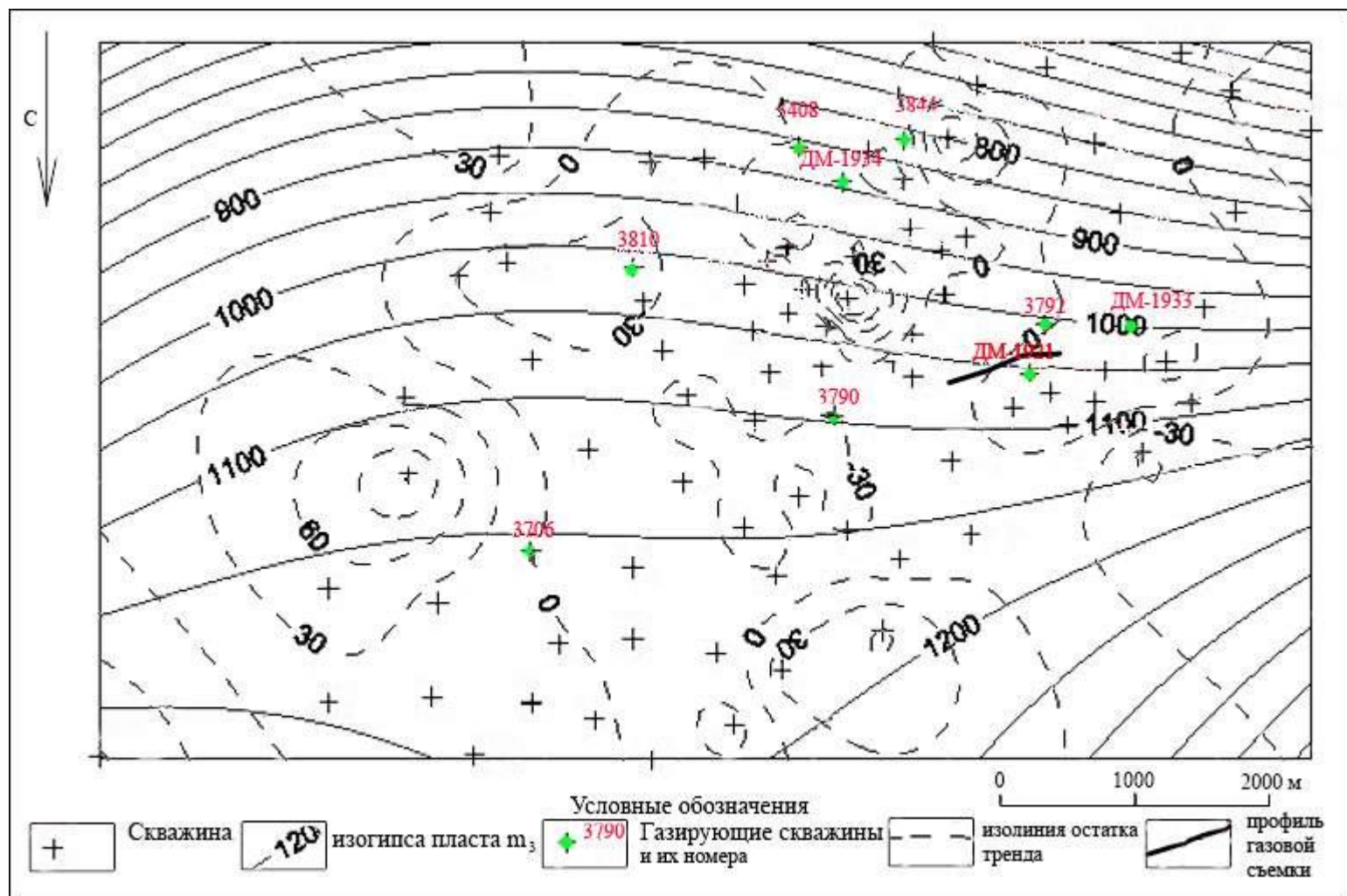


Рис.1 Изолинии поверхности тренда третьего порядка и остатков тренда для почвы угольного пласта m_3

Качество и возможность практического использования результатов тренд-анализа определяется размерами тектонической структуры, связанной с видом и степенью уравнивания тренд-поверхности: чем выше степень полинома, тем более мелкие структуры выделяются в угольной толще. По мнению некоторых исследователей, при диагенезе и седиментации в результате различной уплотняемости нижележащих осадков формируются различные формы, унаследуемые затем при тектонических воздействиях (сжимающих и растягивающих). В результате угленосная толща как бы «гофрирована» - моноклиналиное залегание угленосной толщи шахтного поля осложнено локальными структурами более высоких порядков и представляет собой чередование локальных положительных и отрицательных структур с амплитудами от 10 до 70м. В угольных пластах под воздействием этих факторов фиксируется мелкоамплитудная тектоника. Обычно она появляется в местах смены пород разной прочности, сводовых и донных частях локальных складок, раздувах, пережимах, флексурных изгибах, в местах выклинивания мощных песчаников [2]. Колебания реальной поверхности угольного пласта относительно плоскости тренда отражает локальные антиклинальные (положительные остатки) и синклиналиные (отрицательные остатки) структуры.

Для привязки трендов разных порядков к локальным тектоническим структурам в кровле угольного пласта рассчитана площадь выделяемой структуры путем проектирования синклиналей и антиклиналей на горизонтальную плоскость и вычисления площадей этих проекций (см. табл.1). Положительная площадь - это площадь проекций участков области, где реальная плоскость пласта выше поверхности тренда. Отрицательная площадь - это площадь проекций участков области, где реальная плоскость пласта лежит ниже поверхности тренда. Вычисление объема и площади, заключенной между реальной кровлей пласта и аппроксимирующей сеточной поверхностями выполняется в пакете SURFER.

Анализируя результаты выделения локальных структур разного порядка можно сделать заключение, что положение точек перегиба структур перестают меняться при повышении степени полинома выше третьей. Однако, точность аппроксимации, выделяемых структур меняется в широком диапазоне. На основании этих результатов оптимальной плоскостью тренда признана кубическая поверхность. Площади структур различных порядков имеют близкие размеры. Все структуры более высоких порядков можно отнести к категории мелкоамплитудной нарушенности.

Для заверки результатов пространственного моделирования, полученных методом тренд-анализа, в западной части поля шахты им. А.Ф. Засядько выполнена полевая газовая съемка по почвенному воздуху. Основанием для постановки таких работ послужил опыт атмогеохимических работ по выявлению и оконтуриванию нефтегазовых месторождений ДДВ (Опошнянское и Яблуновское месторождения, Семереньковская структура, Гашиновская и Коробчанская залежи) [6, 7].

По результатам этих работ было установлено, что углеводородные залежи хорошо проявляются в почвенном воздухе положительными аномалиями углекислого газа, углеводородов, радона, паров ртути. Аномалии приурочены чаще всего к проекциям на дневную поверхность контуров залежи и зонам разрывных дислокаций, секущих газовые залежи. Установлено также, что наиболее распространенными и четко выраженными являются аномалии углекислого газа, паров ртути и радона. Существенные аномалии тяжелых углеводородов и метана встречаются спорадически. Другой особенностью атмогеохимических полей является в целом пониженные концентрации газа гелия непосредственно над залежами в пределах их контуров. С другой стороны залежь в поле парообразной ртути на большинстве профилей характеризуется широкой и довольно интенсивной положительной аномалией. Наиболее универсальным индикатором газовых залежей в почвенном воздухе является углекислый газ, который оперативно

определяется в почвенном воздухе шахтным интерферометром ШИ-10 или ШИ-11.

На основе опыта атмогеохимических исследований углеводородных залежей по почвенному воздуху нами на поле шахты им. А.Ф. Засядько была принята следующая методика газовой съемки. Глубина отбора проб почвенного воздуха составила 0,8 м. Отбор почвенного воздуха осуществлялся из предварительно пробуренного шпура посредством конусного пробоотборника и вакуумных шлангов. Для исключения попадания в измерительный прибор воды и пыли между пробоотборником и измерительным прибором устанавливался специальный фильтр. В качестве измерительного прибора использовался шахтный интерферометр ШИ-10 с пределом измерения метана и углекислого газа от 0 до 6 объемных %. В качестве индикатора газовой залежи использовался углекислый газ.

Исследования проводились в профильном варианте по одному протяженному профилю и двум коротким профилям. Короткие профили были заданы вблизи газодренажной скважины с целью определения параметров газового поля почвенных отложений над известным скоплением газа метана. Шаг наблюдений вдоль этих профилей составил 1м. Протяженный профиль был задан над участком локальных структур угольного пласта m_3 , установленных тренд-анализом. Профиль пересекал зону мелкоамплитудной нарушенности северо-восточного простирания, установленную по данным горных работ. Шаг наблюдений в профиле составил 10м. Протяженность профиля более 1км (см. рис.1).

В целом на участке газовой съемки получено 170 измерений углекислого газа в почвенном воздухе. Статистическая обработка измерений позволила установить значение фоновых содержаний CO_2 , уровень аномальности. Фон газового поля CO_2 составил – 0,1 объемный %. Установлены аномалии CO_2 от 0,25 до 6 объемных %. Аномалия CO_2 в 6 объемных % зафиксирована непосредственно у газодренажной скважины. На расстоянии до 10 м от нее в почвенном воздухе фиксировались

концентрации углекислого газа в 0,75 %, что в 7,5 раз превышает фоновое значение.

На протяженном профиле выявлены три участка аномальных содержаний углекислого газа – в восточной части профиля, в центральной части и западной части. Центральный аномальный участок состоит из трех локализованных аномалий. Здесь выявлены наибольшие для профиля концентрации CO_2 , превышающие фон в 9 раз. Этот аномальный участок накладывается на восточный край зоны мелкоамплитудной нарушенности пластов m_3 и l_1 СВ простирания. Очевидно, эта зона дислокаций пересекает весь разрез угленосной толщи вплоть до дневной поверхности и имеет крутое падение на запад. Геологоразведочными и горными работами установлено, что данная структура контролирует скопления метана в угольных пластах.

Вторым по значимости аномальным участком является восточный. Здесь выявлены три сопряженные аномальные точки с максимальной концентрацией CO_2 в 0,5 % (5-кратное превышение фона). В западной части профиля обнаружена одна аномальная точка.

Следовательно, выделенные в угленосной толще методом тренд-анализа локальные структуры являются реальными. Разработанная методика является необходимым и важным этапом при изучении распределения свободного газа в угленосной толще особенно в зонах мелкоамплитудной нарушенности, которая практически не обнаруживается геологоразведочными работами.

Литература

1. Волкова Т.П. Факторы распределения метана в угленосной толще (на примере шахты им. А.А.Скочинского) / Т.П. Волкова, В.В. Курилович, И.А. Радецкая // Наукові праці УкрНДМІ,- 2009. - С. 316 – 326.
2. Забигайло В.Е. Проблемы геологии газов угольных месторождений / В.Е. Забигайло, А.З. Широков // К.: Наукова думка.- 1972. -172 с.

3. Анцифров А.В. Газоносность угольных месторождений Донбасса /А.В. Анцифров, М.Г. Тиркель, М.Т. Хохлов и др. // Киев: Наукова думка, - 2004. – 231с.
4. Анцифров А.В. Газоносность и ресурсы метана угольных бассейнов Украины / А.В. Анцифров, А.А. Голубев, В.А. Канин и др. // Донецк: Вебер,- 2009. - т.1. – 456с.
5. Волкова Т.П. Принципы создания компьютерных моделей месторождений // Науковий вісник НГУ//.- Дніпропетровськ:- 2005/ - №6. - с.52-54.
6. Особенности атмогеохимического поля Опшьянского газоконденсатного месторождения в Днепроовско-Донецкой впадине / Гавриш В.К., Добрянский Л.А., Алехин В.И. и др. // Докл. АН УССР. – 1989. – Сер.Б, №1.– С.7-10.
7. Атмогеохимическое прогнозирование неотектонически активных зон в Донбассе, Днепроовско-Донецкой впадине и других регионах / Гавриш В.К., Рябоштан Ю.С., Алехин В.И. и др. // Препринт. – Киев: АН УССР, Ин-т геол. наук, 1990. – 43 с.