

ГЕНЕТИЧНИ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ЧРЕЗ КОМПЮТЪРНО ТРИИЗМЕРНО МОДЕЛИРАНЕ В НАХОДИЩА "БЕЛИ ПЛАСТ" И "ГОРНА КРЕПОСТ", БЪЛГАРИЯ

Светлозар Бакърджиев¹, Милослав Кацаров²

¹Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София; zarcobak@mgu.bg

²Министерство на икономиката, енергетиката и туризма, 1000 София; m_katsarov@abv.bg

РЕЗЮМЕ. В контекста на науката за полезните изкопаеми, изясняването на източниците на веществото за натрупването на полезното изкопаемо е твърде важен и в повечето от случаите се доуточнява от новопостъпила информация. Във връзка с това, в настоящето изследване е направен цялостен анализ на информацията за източниците на вулкански материали, чиято последваща преработка е довела до образуването на зеолитовите находища "Бели пласт" и "Горна Крепост". За целта в работата са представени резултатите от тримерното геостатистическо моделиране за находищата по данни за стратиграфията им и пространственото разпределение (геохимията) на елементите Na, K и Ca.

GENETIC INTERPRETATIONS THROUGH THREE DIMENSIONAL COMPUTERS MODELING IN "BELI PLAST" AND "GORNA KREPOST" DEPOSITS, BULGARIA

Svetlozar Bakardjiev¹, Miloslav Katsarov²

¹University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia; zarcobak@mgu.bg

²Ministry of Economy, Energy and Tourism, 1000 Sofia; m_katsarov@abv.bg

ABSTRACT. In the context of the natural resources science, the question for clarification of the sources of the substance for the accumulation of ores and minerals is very important and in most cases it will be corrected by the new information. In this regard, the study provides a comprehensive analysis of information for the sources of volcanic material, which further processing has led to the formation of "Beli Plast" and "Gorna Krepost" zeolite deposits. For that purpose, this study presents the results of 3D model of the fields on the basis of the data for their stratigraphy and spatial distribution (geochemistry) of the elements Na, K and Ca.

Въведение

Въпросът за генезиса на зеолитовите находища, намиращи се в района на Родопите, по-конкретно в близост до селата "Широка поляна", "Бели пласт", "Мост", "Страхил войвода" е все още дискуссионен. В науката за полезните изкопаеми главната задача на генетичния анализ е построяването на генетичен модел на изследваното находище (обект) и проверка на неговата правилност. Самият факт, че е необходимо да се изследват и интерпретират геологогеохимичните данни за повече от едно находище, намиращи се в близост, прави задачата нелесна. Към всяко от находищата се налага да се построява в пълна степен интерпретативен модел и едва след това да се преминава към генерализиране на генетична хипотеза, обясняваща поведението на един или повече от изследваните компоненти. Голямо значение тук придобиват априорните ни знания за съществуването на изследваното явление, като по литературни данни те са следните:

Търсецо–проучвателните работи сочат, че изследваната ивица между селата Широка поляна, Бели пласт, Мост, Кокиче до Страхил войвода, в северната и североизточната си част, е била в обхвата на крайбрежния

фациес на олигоценското море (по геоложки съображения), а дълбоките части на шелфа са били в южната и югоизточна посока. За това свидетелства пети олигоценски хоризонт, който основно е представен в находища "Бели пласт" и "Горна крепост", докато при находище "Мост" този пласт липсва. При находище "Бели пласт" вероятно басейнът е бил със спокойни и тихи води, като е протичала глинесто карбонатна седиментация. За това свидетелствата т. нар. "Пети хоризонт", който е представен от глинести и органогенни варовици. Първите са светлосиви със слабобелезникав оттенък. Изградени са от калцит и глинести минерали. Срещат се и останки от организми, запълнени с калцит, както и единични прерези на диатомеи и спикולי от спонгии. Теригенната съставка е незначителна и е представена от кварц, санидин, биотит, плагиоклаз, късчета от зеолитити, риолити и метаморфити. Органогенните варовици са бели, плътни. Изградени са от скелетните фораминифери, корали и колониални водорасли (Брънкин и др., 1982). Органогенните останки са изградени от микрозърнест калцит.

Пети хоризонт при находище "Горна крепост" основно е представен в северната и североизточната части от находището. Там се разкриват бели органогенни варовици

с обилна фауна. Те залягат несъгласно върху туфите от първия и третия хоризонти (Конкин и др., 1993). Всички изследвани находища имат свои особености по своя веществен състав и генезис, като колкото находищата са по-големи, толкова те са по-уникални.

Избор на методика за построяване на геоложкия модел

Данните, по които е съставен геоложкия модел, са взети от прокараните сондажи за най-различни нужди, като за изследваните ареали те имат различни дължини. Пространственото положение на сондажите за находища "Бели пласт" и "Горна крепост" е визуализирано в програмата Rock Works. С изключение на няколко сондажа, всички сондажи покриват с относително равномерна плътност изследваните ареали.

Повечето от количествените методи за литолого-стратиграфска корелация се основават на процедурата на сравнение по двойки, между всеки два съседни сондажа по даден профил. При всички подобни сравнения основно се допуска, че пластове между двете литолого-стратиграфски нива имат хоризонтално положение. В изследваните от нас обекти това не е така, т.е. пластове са наклонени, при това, по някои от публикуваните в литературата профили, генералният наклон в източна посока на пластове е значителен.

Съгласно Hawkins (1984) търсенето на максимална съгласуваност между множеството междоформационни граници, които са фиксирани надеждно чрез прокарани сондажи, трябва да се основава на някои допускания. Например, ако вече съпоставянето е извършено, то мълчаливо се предполага, че два и повече отделни разреза представляват една и съща история на седиментообразуването. Ясно е, че надеждността на литостратиграфската корелация трябва да зависи от направените допускания.

На конкретни примери на разрези Olea (1988; 1999) препоръчва по-адаптивен алгоритъм за литостратиграфска корелация, в който се използват и данни, характеризиращи т. нар. геоложко подобие. Същото определя т. нар. "lithobland" алгоритъм, който се основава на търсенето на най-доброто съчетаване (blend) както между отделните сондажи, така и между отделни, предполагаемо напречни на залягането, профили. Получените по този алгоритъм цифрови модели се характеризират с хоризонтално разположение на пластове, като литостратиграфските несъгласия, прекъсвания и пр. се отразяват с "неиздържаност" на пластове.

Анализът на данните от изследваните обекти показва, че литостратиграфските им разновидности нямат хоризонтално или близко до хоризонталното залягане на долнището, респективно горнището на конкретния литотип. Освен това, на малки разстояния, дори и в съседни сондажи, се наблюдават съществени разлики в дебелините на пластове.

Съгласно Maurer (2000) и други изследователи, трябва да се прави разлика между построяването на контурните линии на пластове между произволно избрани два сондажа и построяването на литостратиграфски или в общия случай геоложки модел. В първия случай процедурата се нарича корелация, а във втория случай моделиране, което в зависимост от наличната информация може да се развие в т. нар. симулация, която от своя страна се реализира поетапно между всички или избрани двойки сондажи. Следва, че литостратиграфската корелация между сондажите е задължителен елемент от общата методология на моделирането, тъй като чрез нея е възможно да се определят общите тенденции в седиментацията. В този контекст, например в програмата RockWorks 2008, се предлагат алгоритми за последователно наслагване (stacked) на изоповърхности (Building Stacked 3D Surfaces). Основното, което трябва да реши изследователят, е изборът между независимото построяване на изоповърхностите, например чрез геостатистическите методи или чрез търсене на моделно съответствие между подходящо избрана, т. нар. "компетентна" (wrap-surface) повърхност и останалите повърхности. Очевидно е, че вторият подход има съществени предимства при построяването на литоложкия модел, тъй като "допуска" включването в модела и на други насочващи "wrap"-елементи, като структурни несъгласия.

В търсенето на максимална устойчивост на цифровия модел спрямо "компетентна" (wrap-surface) повърхност и стекованите към нея изоповърхности, е необходимо да се приложи подходящ геостатистически метод или комбинация от методи. Съгласно възможностите на използваната програмна среда, пространствената структура на модела трябва да отразява долните и горни граници на формациите, като при един от вариантите на моделирането, границата се представя като повърхност, която задължително "минава" през всички сондажни колонки, в които присъства съответната формационна разновидност. По този начин става ясно, че изборът на методика за построяването на тази повърхност е важен, тъй като трябва да се съблюдават изискванията за конкордантност на формационните единици.

За доуточняване на концепция за генезиса на зоолитовите находища в изследвания район, в настоящата работа са използвани възможностите на тримерните модели за находища "Бели пласт" и "Горна крепост" по данни за литологията, стратиграфията и пространственото разпределение (геохимията) на елементите Na, K и Ca.

Във връзка с неясноти около източниците, продуцирали пирокластиката в посочения район и потоците на тяхното натрупване, е необходимо да се построят тримерни пространствени модели. До момента на настоящето изследване, такива модели не са създавани. Целта е чрез коректното построяване и калибриране на моделите, да се определи посоката на течение на пирокластичните потоци. Това, би определило и евентуалния вулкански център с оглед различните хипотези (Янев, 1980; Yanev, 1995; 2006; Moskovski et al., 2006; Йорданов и др., 2007).

Калибриране на модела към първичната информация

Калибровката представлява важна част от моделното решение. За конкретното изследване, за калибриране са използвани най-близките точки с налична информация. За дискретните нива на съответната формационна единица са използвани единствено данните от котите на сондажите. С оглед предположението за стационарния характер на модела, като задоволителна е приета разликата от 0.01-0.9 m между моделните и действителните коти на границите между литостратиграфските граници. Тази опция, например в програмата RockWorks е менюто Stratigraphy, като е обявена като Tickness cutoff, намиращо се в разширеното меню – Hide thin zones. Изборът на „добра стойност“ за този параметър е много важен, тъй като чрез него се управлява степента на „разкъсаност“ между съответните формационни повърхности. Теоретичните и практическите аспекти на калибрирането са развити и представени най-добре от Hill (1998), в съответния труд. За съжаление, конкретната компютърна реализация в програмните модули UCODE и MODFLOW е непригодна за нашите данни, тъй като модулите са предимно пригодени за работа с хидрогеоложки данни. Моделите бяха направени с помощта на програмата RockWorks 2008 на основата на статистическо моделиране по данните получени от националния Геофонд и други информационни източници

Базови условия

В прагматичен аспект е по-удобно пресмятането на модела да се извърши в програмната среда от типа на RockWorks или друга подобна, за да се ползват директно впечатляващите възможности на програмните среди за визуализация на дву- и тримерни моделни визуализации. При избор на метода „обратно пропорционален на разстоянията“ (IDW-метод) в опцията GRIDING INVERSE_EXPONENT е посочена пресметнатата по калибрирането стойност на $\alpha = 1.18$, вместо посочената по умълчаване стойност на INVERSE_EXPONENT = 2.0. Това е възможно най-точното приближение, предвид неособено големия брой изходни данни и очкования гладък характер на търсените повърхности.

Резултати и интерпретация

Параметризация на моделите

Триммерната визуализация е реализирана предимно с възможностите на програмната среда RockWorks, като алтернативно може да се използва и друга среда, например Open GL, SlicerDicer и др.

Стратиграфски модел на ареала на находище „Бели пласт“

Построен е на базата на информацията от 83 сондажа по Брънкин и др. (1982). В модела са включени формациите „Приабон“, „Олигоцен“ – представен от „Първи“, „Трети“ и „Пети“ хоризонт и „Кватернер“. За стратиграфския модел са обработени и въведени 359 броя данни на индексите на стратиграфските хоризонти.

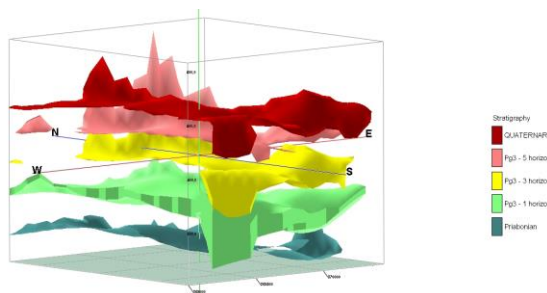
Литоложки модел на ареала на находище „Бели пласт“

Построен е на базата на информацията на 83 сондажа по Брънкин и др. (1982). В модела са включени следните литоложки единици: пласт №1 – мергели гълъбово сиви; пласт №2 – мергели с прослойки от черни туфи; пласт №3 – пясъчливо мергелно варовита глина; пласт №4 – пясъчлива глина; пласт №5 – глинест клиноптилолитов зеолит; пласт №6 – клиноптилолитови зеолити (бледозелени); пласт №7 – клиноптилолитови зеолити с флинт; пласт №8 – клиноптилолитови зеолити (бледозелени); пласт №9 – клиноптилолитови зеолити (розови); пласт №10 – алтернация на туфи, туфобрекчи, стъклени туфи; пласт №11 – варовик; пласт №12 – почвен слой. За литоложкия модел са въведени и обработени 522 броя по интервални описания на индексите на литоложките пластовете на просондираните скали по данни от геоложките журнали на сондажите.

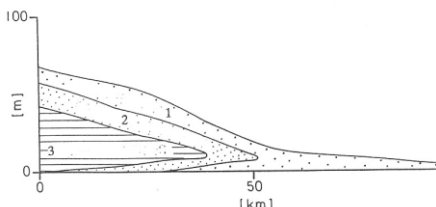
Геохимичният модел по разпределението (Na, K и Ca) в находище „Бели пласт“, построен на базата на информацията на 83 сондажа по Брънкин и др. (1982), като за този модел са въведени данните от анализите на 171 броя данни. За находище „Горна крепост“ триизмерният геостатистически модел (по Na, K и Ca) е построен на базата на информацията на 266 сондажа (Конкин и др., 1993). За този модел са въведени данните от анализите на 2900 броя проби.

Пространственото положение на устията на сондажите за двете находища е крайно неравномерно и на места силно групирани (кълъстерирани). При параметризацията на тези модели, например в средата на RockWorks, е препоръчително да се активира опцията „Declustering“ при възможно най-високи на стойности на деклъстерните стойности. В опциите на „Declustering“ има възможност за интерактивното следене на процеса на деклъстеризация. Оптималния вариант на степента на деклъстеризация се избира в близост до „загубата на устойчивост“ на модела построен по всички данни. От друга страна, „неблагоприятното“ разположение на сондажите в план „пречи“ при построяването профили, разрези и „оградени“ (Fence) диаграми. Изплитняване на морския басейн в север североизточна посока за района на находище „Бели пласт“ (фиг. 1) е установено на представения модел чрез използван алгоритъм Полином тренд от трета степен (Trend Polynomial 3rd Order). Този метод позволява да се набележат общи и локални пространствени тенденции по координирани данни. В резултат на извършения анализ се установи, че тенденция на удебеляване на пети хоризонт /представен от глинести и органогенни варовици/ има в север североизток, което показва, че бреговата линия на басейна се е намирала в същата посока.

За определяне на посоката на движение на пирокластичните потоци е използван идеализираният модел на т. нар. „проста единица“ на течение в смисъла на Smith (1960). Проста единица на охлаждане се образува, когато един или няколко потока се охладят като едно цяло, без да има резки изменения в температурата. Наблюдава се характерна зоналност в простата единица на охлаждане: 1 – неспечена зона, най-външна и най-ниска температурна; 2-частично спечена зона и 3-плътна спечена зона, най-вътрешната и най-висока температурна (фиг. 2).

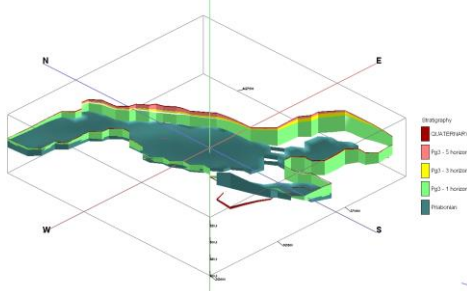


Фиг. 1. Пространствен модел на стратиграфските единици за находище "Бели пласт" с приложен алгоритъм "Trend Polynomial 3st (Order)"

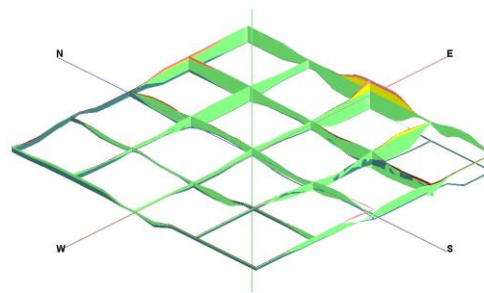


Фиг. 2. Идеализирана латерална и вертикална схема на зоните на спичане в проста единица на охлаждане (Smith, 1960). 1 – неспечена зона; 2 – частично (слабо) спечена зона; 3 – плътно (силно) спечена зона

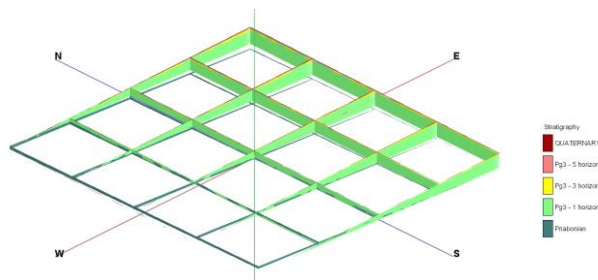
Идеализираният модел на течение, в смисъла на концепцията на Smith (1960) е използван за теоретична рамка в дисертационния труд на Милаковска (1995) за обяснение на произхода на зеолитите в района на селата Кралево, Малък Извор и Долно Ботево, Хасковски окръг. На фигура 3 е показан стратиграфски модел на находище "Бели пласт", като същия е създаден за съпоставка с простата единица на охлаждане, предложена от Смит (Smith, 1960). За пара-метризирането на модела е използван хибриден модел за геостатистическа обработка. Представения на фигурата първи хоризонт е изграден от клиноптилолитови зеолити, като същия съответства на третата плътно спечена и най-високо температурна зона от простата единица на течение на Smith (1960). Поради тази причина в тази част на разреза на находище "Бели пласт" вулканското стъкло е напълно променено в клиноптилолит. Горните нива на първи и долните на трети хоризонт отговаря на 2-ра и 1-ва зона поради факта, че този сегмент от разреза е представен от туфи, туфобрекчи и стъквени туфи, т.е. в зоната имаме непроменено вулканско стъкло. На фигури 4 и 5 е показан стратиграфски модел на находище "Бели пласт". За създаването на модела е използван "интерполиран модел на геоповърхност" "Interpolated Geo-Surface Model" като е използван Closest Point Algorithms (фиг. 4) и Trend Polynomial 1st Order (фиг. 5).



Фиг. 3. Пространствен модел на разпространението на стратиграфските единици за находище "Бели пласт" (Hybrid Algorithms - Inverse Distance and Trend Polynomial 1st Order)

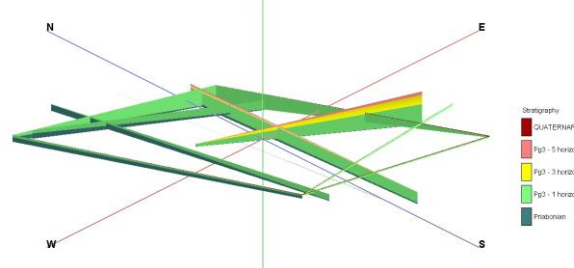


Фиг. 4. Пространствен модел на разпространението на стратиграфските единици за находище "Бели пласт" (Interpolated Surface Model, алгоритъм Closest Point)



Фиг. 5. Пространствен модел на разпространението на стратиграфските единици за находище "Бели пласт" (Interpolated Surface Model, алгоритъм Trend Polynomial 1st Order)

Чрез геостатистическия пространствен модел на находище "Бели пласт" представен на фигура 6, чрез използване на "Straight-Line Correlation" е определена посоката на движение на пирокластичните потоци асоциирайки модела с простата единица на течение на Smith (1960) идеализиран на фигура 2.



Фиг. 6. Пространствен модел на разпространението на стратиграфските единици за находище "Бели пласт" ("Straight-Line Correlation")

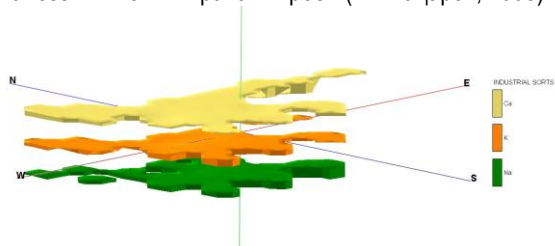
Видно е, че дебелината на първи хоризонт намалява в северозападна посока, като дебелината му се увеличава в изток-югоизточна посока. Това показва че пирокластичния поток се е движел в северозападна посока.

Посоката на движение на пирокластичните потоци, както и посоката на изплитняване на морския басейн се определят естествено по литоложките и стратиграфски признаци. Те се сравняват за евентуална пространствена привързаност с построените по същата параметризация тримерните геохимични модели по съдържания на елементите Na, K и Ca, чието поведение в пространството е един от важните компоненти на хипотезата за автоклавно образуване на зеолитите. В тази хипотеза, (вж. Алексиев, Джурова, 1984), основният фактор, който направлява и контролира дифузията на елементите Na, K и Ca е градиентът на тяхната концентрация в хидротермалния разтвор. Според авторите най-мобилни се оказват алкалните и алкалоземните елементи. Транспортът им се осъществява в две посоки: Na —

надолу а на Са и К – нагоре. Основният фактор, който направлява и контролира дифузията на елементите е градиентът на концентрацията им в разтвора.

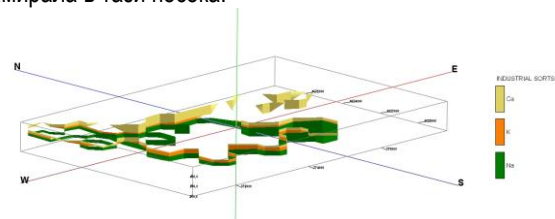
В контекста на горната хипотеза, в дълбоките части на утайката, при значително налягане и температура, започва образуване на аналцим, което е решаващ фактор, стимулиращ дифузионното пренасяне на Na от по-високите, към по-ниските нива. С напредване на този процес за останалите елементи и по-специално за Са и К също се създава градиент на концентрацията, който обуславя противоположна посока на движение и определя при необходимите температура и налягане образуването на клиноптилолитната зона. Още по нагоре температурата и налягането се понижават, дифузията на елементите се ограничава и процесът на изменение и зеолитизация на вулканското стъкло затихва. По тези причини горните части на пирокластичната утайка остават почти или напълно лишени от зеолити.

На фигура 7 е представен пространствен модел на промишлените сортове клиноптилолитова суровина от находище “Горна крепост” чрез използване на алгоритъм Trend Polynomials 3st (Order). Зеолитовата суровина в изследваните находища е поделена на три разновидности – Са, К и Na промишлени сортове, като за критерий е възприет йонообменният капацитет по алкални и алкалоземни йони в прахови проби (вж. Кацаров, 2008).

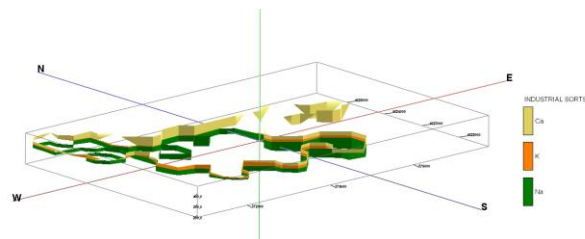


Фиг. 7. Пространствен модел на разпространението на промишлените сортове зеолитова суровина за находище “Горна крепост”, алгоритъм Trend Polynomial (3st Order)

На фигура 8 е показан пространствен модел на промишлените сортове за находище “Горна крепост”, като за създаването на модела е използван Closest Point Algorithms. На фигура 9 е представен модел създаден чрез използване на хибриден алгоритъм за геостатистическа обработка Inverse Distance и Trend Polynomial (1st Order). Разликата при двата модела е незначителна. От моделите следва, че посоката на удебеляване на Са-сорт клиноптилолит е север-североизток и поради това, че чрез дифузионното предвижване на Са към по-горните нива на разреза, още веднъж показва, че плитката част от шелфа, респективно бреговата линия на морския басейн, се е намирала в тази посока.



Фиг. 8. Пространствен модел на разпространението на промишлените сортове зеолитова суровина за находище “Горна крепост”, алгоритъм Closest Point



Фиг. 9. Пространствен модел на разпространението на промишлените сортове зеолитова суровина за находище “Горна крепост” (Hybrid Algorithms – Inverse Distance and Trend Polynomial 1st Order)

Анализът на геохимичните модели по Na е с посока на увеличаване на ореола в посока изток югоизток, което показва, че в тази посока са ниските нива от разреза. От друга страна, поради това, че контурите по Na преминават в по-дълбоките части на утайката, където се очакват по-високото налягане и температура е естествено, тази зона да се асоциира с т. нар. “трета” плътно спечена зона, съответстваща на най-високотемпературната от простата единица на течение по Smith (1960). Поради факта, че тази зона се удебелява в изток-югоизточна посока, то логически се определя северозападна посока за движението на пирокластичните потоци.

Съгласно геоложките и теоретични данни на Sparks (1976) и Sparks & Huang (1980) спичането на надземния горещ поток, който е проникнал през разделителната повърхност въздух-вода е възможен и в подводни условия. Спичането е възможно при условия, които позволяват навлизането на потока във водата и запазване на температурата от няколко стотни градуса, без да се разруши. За да се реализира процеса е необходимо да има голям обем на пирокластичния поток, съответната дълбочина на водния басейн, подходяща за процеса плътност, за редукия на вискозитета на стъклените късчета при високо налягане. В тези условия, при придвижване на потока във водната среда, хидростатичното налягане ще нараства с градиент от 1 bar на 10 m дълбочина. В тези условия се създава подходящо налягане между вътрешната част на потока и външния хидростатичен натиск, което обуславя проникването на вода в пирокластичния поток. Според Sparks (1976) и Sparks & Huang (1980) пирокластичните потоци са несортирани и съдържат пепелни частици и поради това, са с ниска проницаемост, което, от своя страна, ги предпазва от образуване на област на голям контакт с проникнала вода и бърз топлинен обмен. Според авторите, проникналата вода в топлиите пирокласти се превръща веднага в пара, което води до повишаване на вътрешното налягане. Парата е с по-нисък вискозитет от водата и затова може да се придвижи към вътрешните части на потока, като по този начин, по време на движение на потока във вътрешността на системата, се поддържа закрыта система за външното налягане. С повишаване на налягането, парата може да бъде погълната от стъклените късчета, което води до увеличаване на водното съдържание в стъклото, което води до по-нисък вискозитет на същото, а това е физически фактор, който улеснява спичането. Изчисленията на вискозитета на стъклените късчета в зависимост от дълбочината сочат, че същия намалява в дълбочина въпреки охлаждането. При разтварянето на водата потокът ще се уплътни по-бързо във водна среда, отколкото в наземни условия.

Публикувани материали на Cas & Wright (1992) показват, че е допустимо отлагането в плиткоморски условия на големи по обем и дебелина, плътни пемзови и пирокластични потоци. Същите могат да покрият части от шелфа, което ще доведе до намаляване на дълбочината на морския басейн. Предполага се още, че потоците ще запазят идентичността си при навлизане във водната среда.

Тези механизми на отлагане предполагат създаването на затворена за външно хидростатично налягане система, с приблизително еднакви физикохимични параметри на голямо пространство и в голям обем. Изследвания от авторите район обхваща площ от около 30km², което позволява да се приложат различни техники за регуляризация на пространствената променлива.

Прилагането на геостатистически методи показва, че клиноптилолитовите зеолити в тази част са образувани на голямо пространство, в което са протичали процесите на зеолитизация. По тази причина предложението от Aleksiev & Djourova (1975) "геоавтоклавен" модел на образуване на зеолитовите скали в изследвания район има съпоставима геометрия и геохимични параметри със зоналността в простата единица на охлаждане. Високо температурните части на пирокластичните отложения са изцяло зеолитизирани, а в по-нискотемпературните части, с по-ниско налягане, материалът е частично или слабо зеолитизиран.

Заклучение

Триизмерните геостатистически модели на елементите Na, K и Ca показват, че пирокластичният поток се е транспортирал в северозападна посока, а посоката на изплитняване на морският басейн може да се определя косвено чрез геохимичните модели.

Получените резултати от тримерните пространствените модели са съпоставими с използвания идеализиран модел на проста единица на течение в смисъла на Smith (1960) и с предложението от Aleksiev & Djourova (1975) "геоавтоклавен" модел. Обилието на пирокластичен материал е главната причина за образуването на зеолитовите находища "Бели пласт", "Горна крепост" и "Мост". Източникът на пирокластичния материал е от Зимовинския вулкански комплекс и Чифлишки вулкански подкомплекс.

Решаващо влияние върху образуването на зеолитовите минерали са имали физикохимичните условия в геоавтоклавна система, която се индицира с устойчиво присъствие в отделни зони на елементите Na, K и Ca, като тези елементи и техните съотношения могат да се разглеждат като индикаторни за минералого-геохимичния състав на зеолитите. Въз основа на тези изследвания е решена обратната задача, като по данните от пространствените взаимоотношения между зоните се разпознават етапите и особеностите на площната проява на вулканогенно седиментната дейност в изследвания район.

Литература

Алексиев, Б., Е. Джурова. 1984. Промислени зеолитови находища в Североизточните Родопи. – *Год. СУ, ГГФ*, 78, 1, Геол., 256-262.

Брънкин, К., Р. Бояджиев. 1982. Доклад за извършеното детайлно геоложко проучване на клиноптилолитовите зеолитити от находище "Бели пласт", Кърджалиско през 1976 год., с изчисляване на запасите по състояние към 01.01.1981 г. Нац. геофонд, II-1080.

Йорданов, Б., С. Саров, С. Георгиев, В. Вълков, Е. Балканска, В. Гроздев, Н. Марков, Р. Маринова, К. Колчева, Б. Банушев, Д. Синьовски. 2007. *Обяснителна записка към геоложката карта на република България М 1:50000 Картен лист к-35-87-б (Кърджали)*, 36.

Кацаров, М. 2008. Природни типове и промишлени сортове зеолитна суровина в Североизточни Родопи. – *Геология и минерални ресурси*, 10, 31-36.

Конкин, Г., К. Брънкин, В. Палазова. 1993. Доклад за извършеното детайлно геоложко проучване на зеолитови туфи находище Горна крепост, Хасковска област., през 1981-1982г. с изчисление на запасите по състояние към 01.01.1991 г. Нац. геофонд, II-1396.

Милаковска, З. 1995. Литология на вулканогенно-седиментния комплекс между с.с. Кралево, Малък Извор и Долно Ботево, Хасковски окръг. – Автореферат.

Янев, Й., Д. Бахнева. 1980. Алпийският магматизъм на Карпато-Балканската област и моделите на тектониката на плочите. – В: *Геодинамика на Балканите*. С., Техника, 63-74.

Alexiev, B., E. Djourova. 1975. On the origin of zeolite rocks. – *Compt. Rend. Acad. Bulg. Sci.*, 28, 4, 517-520.

Cas, R. A. F., J. V. Wright. 1992. *Volcanic Successions, Modern and Ancient: A Geological Approach to Processes, Products and Successions*. Chapman & Hall, London, New York.

Hawkins, D. M. 1984. A method for stratigraphic correlation of several boreholes. – *Mathematical Geology*, 16, 4, 393-406.

Hill, M. 1998. Methods and guidelines for effective model calibration. – *U.S. Geol. Surv. Water-Resources Investigations Rep.*, 98-4005.

Maurer, F. 2000. Growth mode of Middle Triassic carbonate platforms in the Western Dolomites (Southern Alps, Italy). – *Sedimentary Geology*, 134, 275-286.

Olea, R. A. 1988. CORRELATOR — an Interactive Computer System for Lithostratigraphic Correlation of Wireline Logs. Kansas Geological Survey, Petrophysical Series 4, Lawrence, Kansas, 85 p.

Olea, R. A. 1999. *Geostatistics for Engineers and Earth Scientists*. Kluwer Academic Publishers, Boston, 303 p.

Smith, R. L. 1960. Ash flows. – *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 71.

Sparks, R. S. J. 1976. Grain size variations in ignimbrites and implications for the transport of pyroclastic flows. – *Sedimentology*, 23, 147-188.

Sparks, R. S. J., T. C. Huang. 1980. The volcanological significance of deep-sea ash layers associated with ignimbrites. – *Geol. Mag.*, 117, 425-436.

Yanev, Y. 1995. General characteristic of the Paleogene collision volcanism in Rhodopes. – In: *Zeolite Meeting 95. Guide to the Post-meeting Field Trip*. Sofia, 1-19.

Yanev, Y., J.-J. Cocherme, R. Ivanova, O. Grauby, E. Burlet, R. Pravchanska. 2006. Zeolites and zeolitization of acid pyroclastic rocks from paroxysmal Paleogene volcanism, Eastern Rhodopes, Bulgaria. – *N. Jb. Miner. Abh.*, 181.

Препоръчана за публикуване от
Катедра "Геология и проучване на полезни изкопаеми", ГПФ