

ПРИЛОЖЕНИЕ НА СТРАТИГРАФСКИТЕ ПРИНЦИПИ ПРИ КАРТИРАНЕТО НА ИНТЕНЗИВНО ДЕФОРМИРАНИ ТЕРЕНИ.

(Няколко примера от канадската геоложка практика.)

Автор: д-р Иван Димитров Иванов, научен сътрудник към ГИ при БАН.

(Текстът е разширен вариант на материал изложен на конференция на БГД на тема “Приложение на стратиграфските принципи при картирането на метаморфни терени” състояла се на 14.02.2005 в СУ, София.)

I. УВОД

Структурни усложнения затрудняват прилагането на стратиграфските принципи при картирането на интензивно деформирани терени. Най-често срещаните затруднения са:

1 – Преобръщане на пластореда и нарушаване на нормалната суперпозиция на пластове. При метаморфните скали този проблем се изразява в невъзможност да се приложи принципа на суперпозиция поради липса на критерии за горнище и долнище на пласт;

2 – Нарушаване на прекъснатостта на пластове и невъзможност да се проследи пласта по посоката му. В интензивно нагънати и разломени скали е лесно да се изгуби маркиращо ниво в пластореда и да се обединят в една стратиграфска единица скали образувани в различно време и в различни обстановки на седиментация или вулканизъм;

3 – Литоложки промени съпътстващи диагенезата и метаморфизма водят до промяна на първичния облик на скалата. Променят се цветът, текстурата, структурата и минералния състав на скалите, като при това се затруднява корелацията на сходни скали и се усложнява проследяването на маркиращи хоризонти.

Всеобщо разпространено е мнението, че стратиграфският или литостратиграфският подход са за предпочитане и трябва да се прилагат винаги когато е възможно.

Всички официални геоложки карти в Канада съдържат стратиграфска информация. Във високометаморфните терени скалите са подразделени на литостратиграфски принцип, като често подразделянето стига само до ранга на Група и Супергрупа. При картирането на метаморфни скали в Канада освен теренните изследвания широко се използват и литогеохимични методи на корелация, изотопно датиране и корелиране на скални формации по данни от самолетни електромагнитни снимки. Комбинацията от тези методи почти винаги води до успешното проследяване на маркиращи стратиграфски нива и до разкриване на геоложката структура на района. Прилагането на скъпа комплексна картировка не засяга цялата територия на страната а главно области със значителна концентрация на полезни изкопаеми. Такива картировки обикновено се подпомагат от провинциалните правителства поради възможността за откриване на нови находища и подпомагане на местната икономика.

Усложненията в деформираните терени са многообразни и не могат да се опишат накратко. Следва да се спомене, че при картирането основният акцент е върху теренно определяне на скали и възможно най-точното привързване на тези скали

към някаква топографска основа. Следователно геоложката карта е банка от първична геоложка информация. Въз основа на тази информация са възможни интерпретации и модели но към тях следва да се пристъпи едва след внимателното обработване на първичната информация.

По принцип геоложките карти в Канада са банки от първична информация, които не съдържат модели и се основават на минимален обем интерпретации. В отличие от Българската практика тези карти често съдържат информация за формата, размерите и точното местоположение на разкритията и на находищата или проявленията на полезни изкопаеми в обхвата на картния лист.

При този подход се съхранява информация за разкрития или данни за родопроявления, които могат да се изгубят с течение на времето. Така се дава възможност на следващите поколения да обогатяват и модернизират геоложките карти без да се губи стара информация и да се започва отначало. За качеството на геоложката карта се съди не по академичната сложност на концепциите заложиени в тях, а по точността на регистриране и обема на регистрираната първична информация.

В този текст се разглеждат няколко деформационни обстановки, при които прилагането на стратиграфски принципи е затруднено. Изборът на примери не обхваща цялото многообразие от деформационни процеси а цели стимулиране на дискусиата целяща подобряването на качеството на геоложкото картиране у нас. Представени са тези целящи провокиране на критично мислене при анализа на деформираните терени. Коментирани са някои схващания, които по мнение на автора са догматични и се нуждаят от критичен анализ.

По въпроса за метаморфните скали, мнението на автора е, че те са само брънка от общия кръговрат на скалите и процесите в тях не могат да се изучават отделно от процесите протичащи в неметаморфните скали. С други думи, не можем да решим проблем в метаморфен терен ако забравим, че преди метаморфизма там е имало неметаморфозирани седиментни или интрузивни скали.

II. КАРТИРАНЕ В НАВЛАЧНИ ТЕРЕНИ.

Прилагането на стратиграфски принципи в навлачни терени е затруднено поради факта, че скалните формации са изведени от нормалното си пред-деформационно залягане и са транспортирани на известно разстояние. При навличането се обединяват различни по литоложки състав, вътрешна структура, възраст и условия на образуване скали. Често се създават привидно конформни контакти, които подвеждат геолозите, като създават илюзия за непрекъснат пласторед. Нагъването, което често съпровожда навличането допълнително затруднява геоложката работа.

По принцип навлаците са характерни за плитките нива на земната кора, поради изискването при навличане минималното напрежение на стресовото поле да бъде вертикално.

Съгласно класическата разломна механика, те или предшестват или са по-късни от метаморфната дейност, която протича на голяма дълбочина и се съпътства от размекване на скалите и почти изотропна стресово поле.

Навлаците, формиращи след регионалния метаморфизъм лесно могат да бъдат сбъркани с полегати разсеци съпътстващи ексхумацията на орогенната система. Важно е още, че както навлаците, така и полегатите разсеци (детачменти) се срещат много по-рядко отколкото популярната геоложка представа налага.

Много от сега известните детачменти в по-старата литература са били описвани като навлаци. Много от “класическите” детачменти бяха отхвърлени като такива след проведени детайлни геоложки изследвания.

(В този аспект поучителна е еволюцията на представите за нискогълните разломи в района на Йука Маунтаин, Невада, където е построено Американското хранилище за високорадиоактивни отпадъци. Информация може да се намери с голям брой интернет сайтове).

Най-често срещани са стръмните навлаци (thrusts) с малка амплитуда на преместване, затова е желателно да се анализира геоложки сценарии с полегати навлаци само след като се изчерпят геометричните възможности за изясняване на структурата с помощта на стръмни разломи и гънки.

Характерно е, че при много от навлаците се съхранява нормалния пласторед, като се нарушава само част от пласторедата разположена в непосредствена близост до навлачната повърхнина. На Фиг. 1 е показан типичен навлак, при който отгорележащите пластове и отдолулежащите пластове са в нормално стратиграфско положение. Картирането на такава структура и прилагането на стратиграфският подход е напълно възможно след като се направи геометричен структурен анализ и се опишат внимателно скалните разновидности.



Фиг.1. Навлак съпроводен от нагъване във всящото и лежащото крило. Скалните последователности в подложката и покривката на навлака са в нормална стратиграфска позиция.

III. КАРТИРАНЕ НА ХАОТИЧНИ ХОРИЗОНТИ – МЕЛАНЖИ.

Погрешно е мнението, че високометаморфните скали се характеризират с най-значителна структурна нарушеност. Това е вярно за някои високометаморфни терени но далеч не за всички. Степента на структурна нарушеност на масива зависи от граничните условия на деформация и от глобалната геотектонска позиция на метаморфозирания терен. Известни са напълно неметаморфозирани или слабо метаморфозирани терени, които се характеризират със структурна нарушеност превишаваща тази на редица високометаморфни терени.

Особено сложна е структурата на меланжите формирани в акреционните клинове на субдукционните комплекси. Меланжите се подразделят условно на “сидиментационни” и “тектонски”.

“Сидиментационните” меланжи са генетично свързани с подводните свличания (slumps), и с фациесите от турбидитната асоциация. Те възникват в обстановка на екстензия породена от гравитационно придвижване на значителен обем от седименти по посока на континенталното подножие или жлеба. Проявява се разтягане по посока на наклона пластове и разкъсване на пластове, възсядане на част от седиментната последователност, завихряния и ротация на част от пласторедата до степен на формиране на спираловидни форми, локално разломяване и нагъване и т.н. При този тип деформации е характерно преобръщане на пласторедата и вмъкване на домени от “чужди” скали а също нагъване на скалите в мащаб от десетки или дори стотици квадратни километри. Проявява се характерен непроникващ или частично проникващ груб кливаж. Този кливаж се отличава от регионално метаморфния кливаж по значителния ъгъл между кливажните плоскости.

В терен където са смесени сходни по литоложка характеристика но формирани в различно време скални типове детайлното стратиграфско и литолошко разчленяване е трудно а в доста случаи не е желателно. Датирането на възрастта се затруднява от механическо смесване на разновъзрастна фауна. Меланжите могат да бъдат формирани в хода на многократни импулси на гравитационно придвижване, затова е възможно отделянето на пакети от скали, които характеризират последователността на меланжообразуване.

“Тектонските” меланжи се характеризират с по-интензивни деформации и наличие на проникващ кливаж. Те често включват фрагменти от различни вулкански скали, най-често ултрабазити и базити от офиолитовата асоциация. Счита се, че се формират от същите процеси, които водят до седиментните меланжи но при значително по-висока интензивност на деформациите породена от по-голям обем на включените скали, по-голямо гравитационно натоварване и локално възникване на компресионни обстановки.

Тектонските меланжи обикновено се отделят като самостоятелни скални единици. При това основно внимание се отделя на долната и горната граница на меланжната формация. Детайлното подразделяне на скалите вътре в меланжа е рисковано. Обаче детайлното литолошко и петроложко изучаване може да доведе

до корелиране на някои екзотични блокове от меланжа със скали разположени извън меланжната формация.

Известно сходство с меланжите имат отложенията на мътните потоци, които съпътстват свличания от ръбовете на вулканските конуси. Такива отложения известни като “лахари” представляват груба смес от разнообразни скални типове, откъснати от подложката на гравитационния поток. При лоша разкритост на терена опитите за литостратиграфска корелация на части от такъв терен могат да доведат до груби грешки. За разлика от истинските меланжи тези отложения не са хаотично нагънати и маркират стратиграфски нива с по-ясна долна и горна граници.

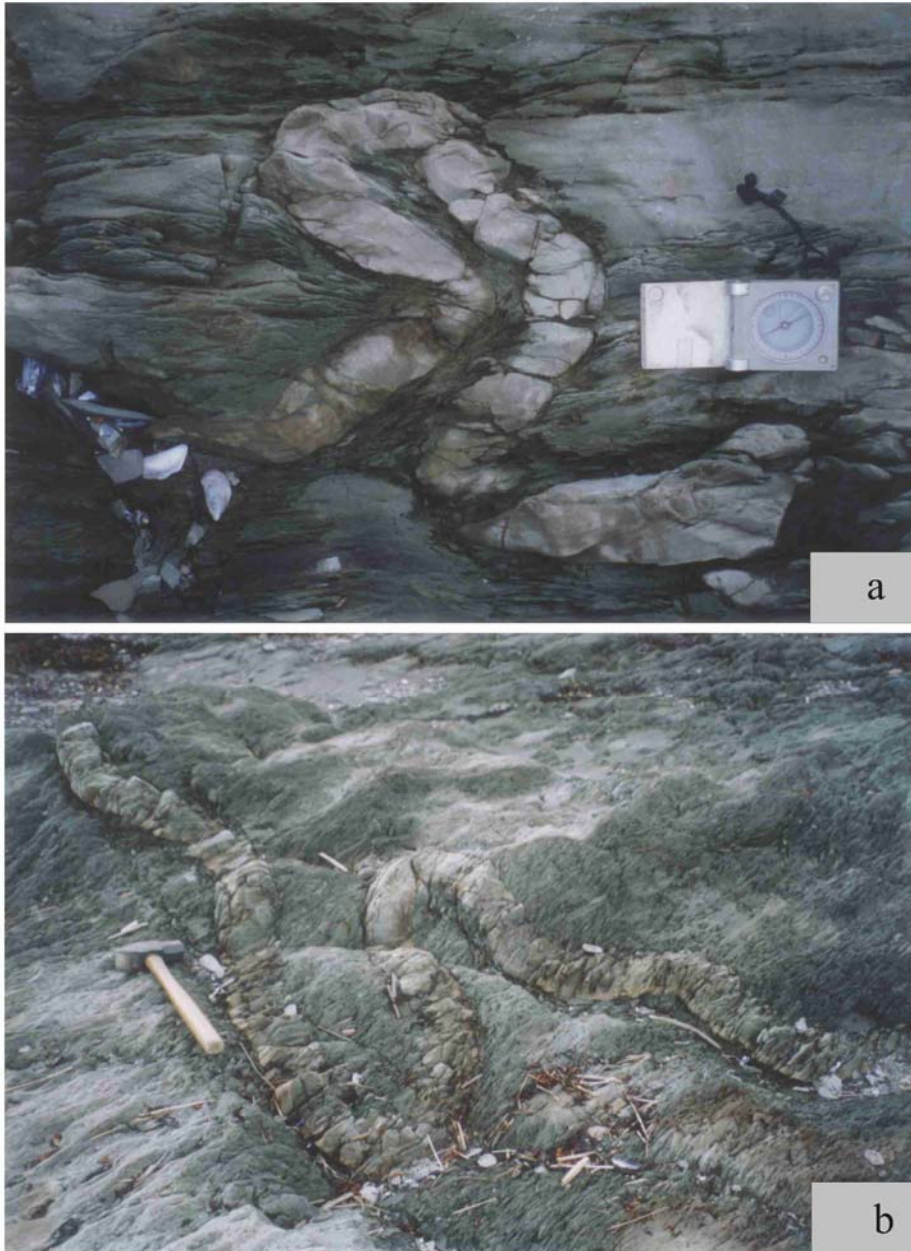


Фиг. 2. Фрагмент от варовиков пласт включен сред червен алевролит от седиментен меланж. Вижда се груб непроникващ кливаж сред алевролита. Счита се, че червеният цвят се дължи на първично оцветяване на седиментите в плиткоморска окислителна среда, след което те са били пренесени в дълбокоморски условия. Датирание с конодонти на варовиковото включение е възможно но реалното време на формиране на меланжа остава неизвестно. Свита Поинте Верте, северен Нови Брунзуик, Канада.

IV. КАРТИРАНЕ НА ПОДВОДНИ СВЛАЧИЩА.

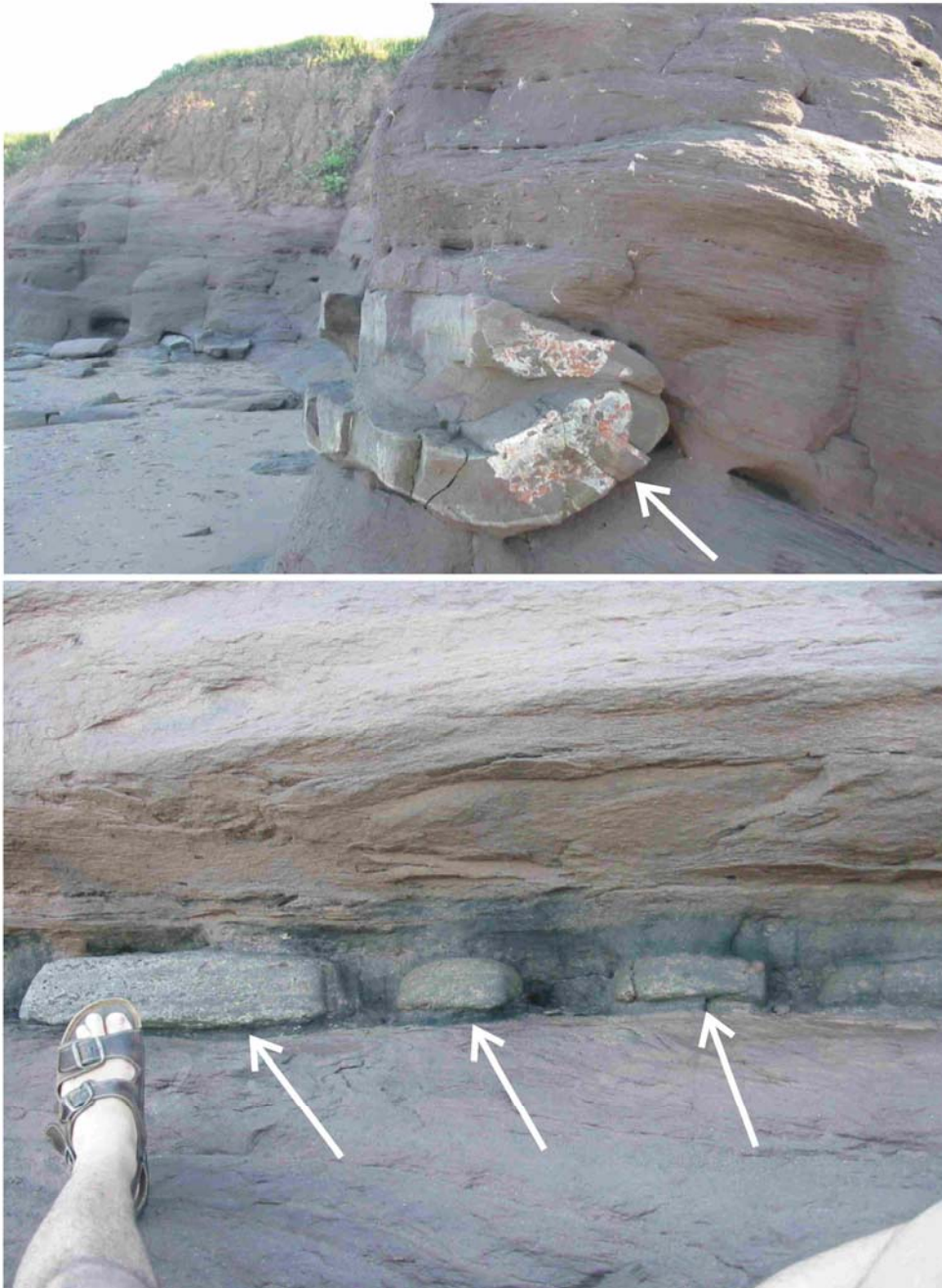
Вече е известно от дълбокоморското сондиране и сеизмични и други изследвания на нефтените геолози, че съществуват обширни области със синседиментационни

деформации, при които пластичността при нагъването на скалите се постига поради водонаситеното състояние на седиментите. Това става при температура близка до стайната и ниски налягания. За разлика от меланжите, където скалните комплекси се разкъсват и смесват, при подводните свлачища непрекъснатостта на скалната последователност не се нарушава значително. Някои от свлачищните хоризонти се характеризират със сравнително систематично нагъване, при други гънките са формирани под действието на срязване между скални пластини придвижващи се една върху друга под действието на гравитационните сили.



Фиг. 3 а, б. Безкоренни гънки от подводен свлачищен хоризонт, пресечени от регионално метаморфен кливаж.

На Фиг. 3 са показани гънки привързани към стратиграфско ниво интерпретирано като подводен свлачищен хоризонт, който е нагънат (заедно с гънките в него) през акадската орогенна фаза в средата на девона. Тези гънки предшестват регионалния кливаж. Вижда се как кливажът ги пресича под почти прав ъгъл. Акадската деформация е модифицирала до известна степен свлачищните гънки, като те са сплескани по посока на регионалното стресово поле и са на практика неотличими от някои акадски гънки. Структурният анализ обаче разкрива, че те са независими от акадското нагъване.



Фиг. 4. Син-седиментационно нагъване и будинаж.

На Фиг. 4 е показана гънка със субхоризонтална осова повърхнина и будинаж на компетентен пясъчников пласт включен сред по-дребнозърнест пясъчник. Тези деформации са синхронни на седиментацията в малък междупланински (моласов) басейн с карбонска възраст. Стратификацията в този басейн е субхоризонтална и липсва каквато и да е регионална деформация но синседиментационни свлачищни гънки и синседиментационни разседа се срещат често. Седиментите са носители на няколко газова и нефтени находища.

В метаморфозирани терени свлачищен хоризонт включен между несмутени пластове лесно може да бъде сбъркан със зона на пластично синметаморфно срязване. При това раните гънки могат да бъдат оприличени на ножични гънки и да бъдат използвани за кинематични индикатори на срязване. В известен смисъл те са такива индикатори на срязване но срязването е протекло близо до морското дъно в студени и водонаситени седименти.

На Фиг. 5 е показана детайлна геоложка карта на свлачищен хоризонт нагънат от симетрични двустранно потъващи гънки. Регионалният кливаж е синхронен на голямата гънка (в зелено) и пресича осовата и повърхнина под ъгъл от 30-40°. Малките свлачищни гънки (кафяво) са пресечени почти под прав ъгъл от регионалния кливаж. На разреза са изчертани привидните наклони в южното бедро на голямата гънка. Вижда се, че малките гънки са несъгласуеми с геометрията на голямата гънка и очевидно са резултат на съвсем различно събитие.

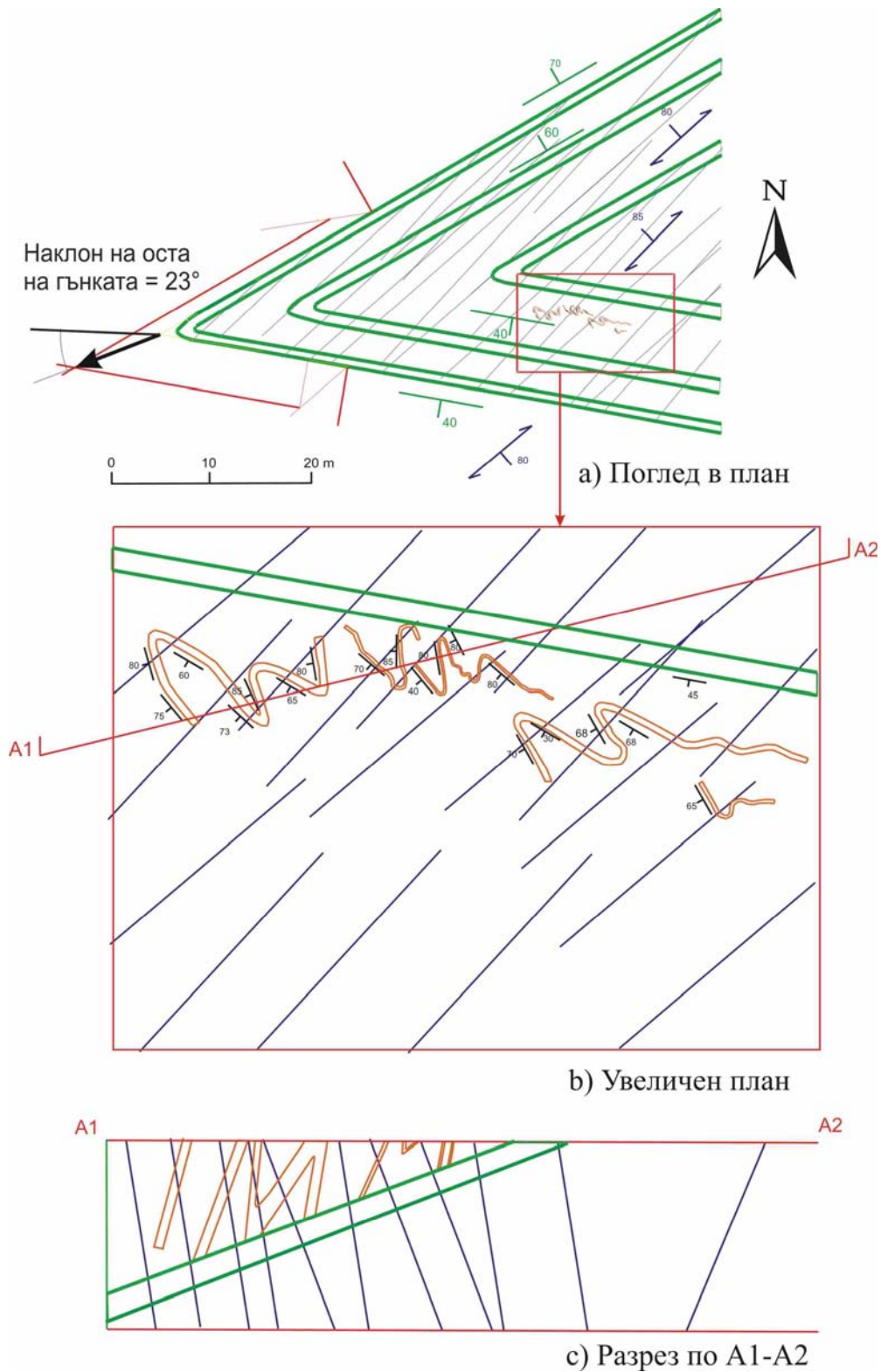
Картирането на подводни свлачищни хоризонти или терени засегнати от значителни по обем гравитационни деформации, е съпътствано от същите структурно геоложки и стратиграфски грешки, както и картирането на меланжите.

От практическа гледна точка възникват няколко въпроса:

На първо място, какъв е обхватът на синседиментационните деформации? Отговорът е даден в съвременните публикации по морска геология. В делтите на реките Нигер, Мисисипи, Ганг и др. площта на деформираните хоризонти е стотици квадратни километри а дебелината десетки метри. Продължителността на проява на тези деформации съответства на живота на седиментационния басейн. За сравнение, много от древните седиментационни басейни, са съществували 30-50 мн. год.

Друг интересен въпрос е съхраняват ли се продуктите на тези деформации в хода на геоложката еволюция на скалния комплекс? Отговорът е, че няма причина те да не се съхранят, като се отчете, че в хода на последващите деформационни и метаморфни събития те неизбежно ще бъдат модифицирани.

От стратиграфска гледна точка е добре да се спомене, че въпреки локалните смущения, които предизвикват тези деформации не нарушават глобалната суперпозиция на седиментите в обхвата на басейна и че някои от смутените хоризонти сами по себе си представляват добри стратиграфски нива.



Фиг. 5. Детайлна карта, увеличен план и разрез на силурски свлачищен хоризонт нагънат през академската орогенеза. Със зелено и кафяво са показани пластовете. Със синьо е показан регионално-метаморфният кливаж. Наклонът на оста на гънката определен със структурни контури е 23° ЮЗ.

V. КАРТИРАНЕ НА ТЕРЕНИ ЗАСЕГНАТИ ОТ МНОГОКРАТНО ПРОЯВЕНИ ТЕКТОНСКИ ДЕФОРМАЦИИ.

Многократно деформираните терени са най-често срещаното препятствие пред изграждането на детайлни стратиграфски схеми. В такива терени е трудно да се проследят стратиграфските нива, поради сложно нагъване и разместване по разломи. Стратиграфската работа задължително се съпровожда с картиране в по-едър мащаб, например 1:5000-1:500. На базата на по-детайлното картиране може да се свърши структурно геоложка работа за изясняване на геометрията на гънките и разломите.

Двукратно деформираните терени без значително преобръщане на пластовете могат сравнително лесно да бъдат обработени по този начин. Следва да се отбележи, че акцентът би трябвало да се поставя върху проследяване на контрастни в литоложко отношение нива.

Дори и да няма никаква информация за долнище и горнище на пласт и за възрастта на скалите, литостратиграфска схема е възможна, ако се изясни структурата и се проследят достатъчно надеждно стратиграфските маркери. След построяване на детайлни геоложки разрези даже при преобрънат пласторед и липса на индикатори за горнище и долнище повторемостта на пластовете в гънките може да укаже действителната суперпозиция.

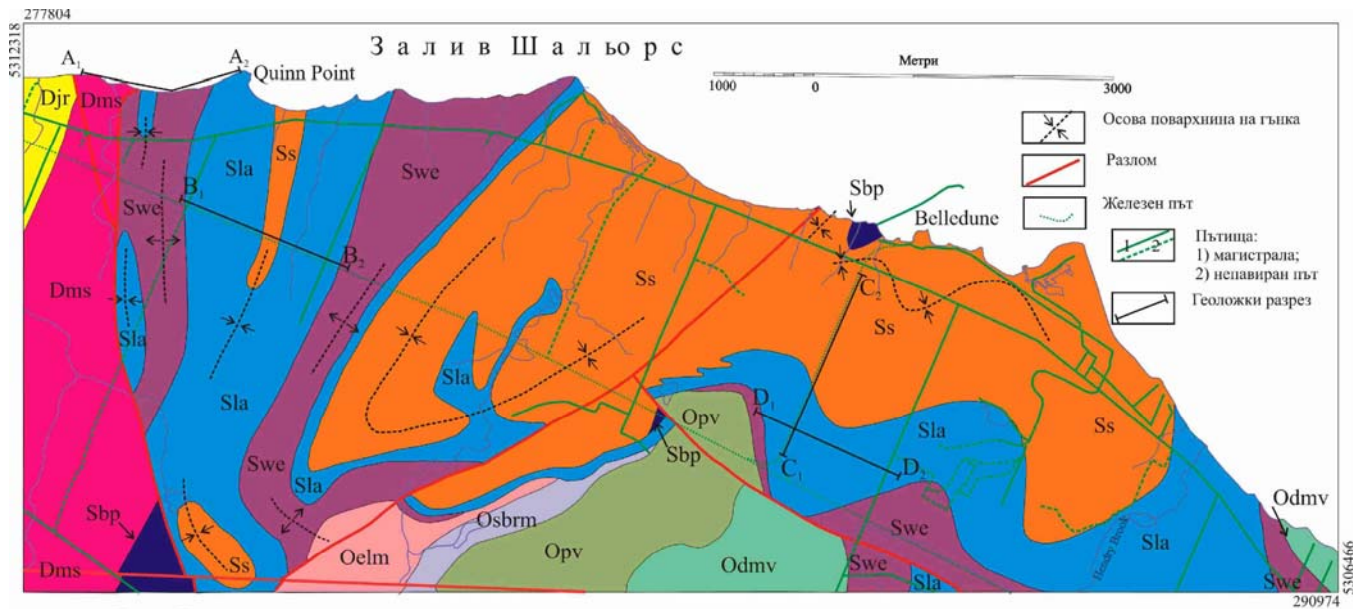
На Фиг. 6 е показана карта от реален геоложки отчет върху палеозойски нагънат терен от североизточна Канада. Картата е субективна и е построена върху терен с лоша разкритост, следователно тя би могла да се подобри при наличие на по-детайлни данни.

Теренът показан на тази карта бе **интерпретиран** като двукратно нагънат. Предложено бе, че втората деформационна фаза е произвела гънки, чиито осови повърхнини са ориентирани на ИСИ.

В хода на картировката с особено внимание е проследено нивото от ядчести варовици (в син цвят), което служи за регионален маркиращ хоризонт.

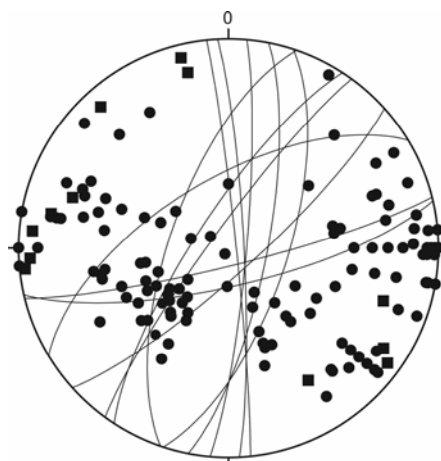
Представата за двукратното нагъване на пластовете в този район се подсилва след построяването на стереографска проекция на значителен брой пластови повърхнини. На тази проекция (Фиг. 7) се очертават гънки с осови повърхнини ориентирани на север и на североизток.

Като се абстрахираме от легендата на картата, където са показани възрастите на скалите, интересно би било отговорим на въпроса: Налице ли е преобръщане на пласторедата? Би трябвало отговорът да бъде даден само въз основа на анализ на гънките.



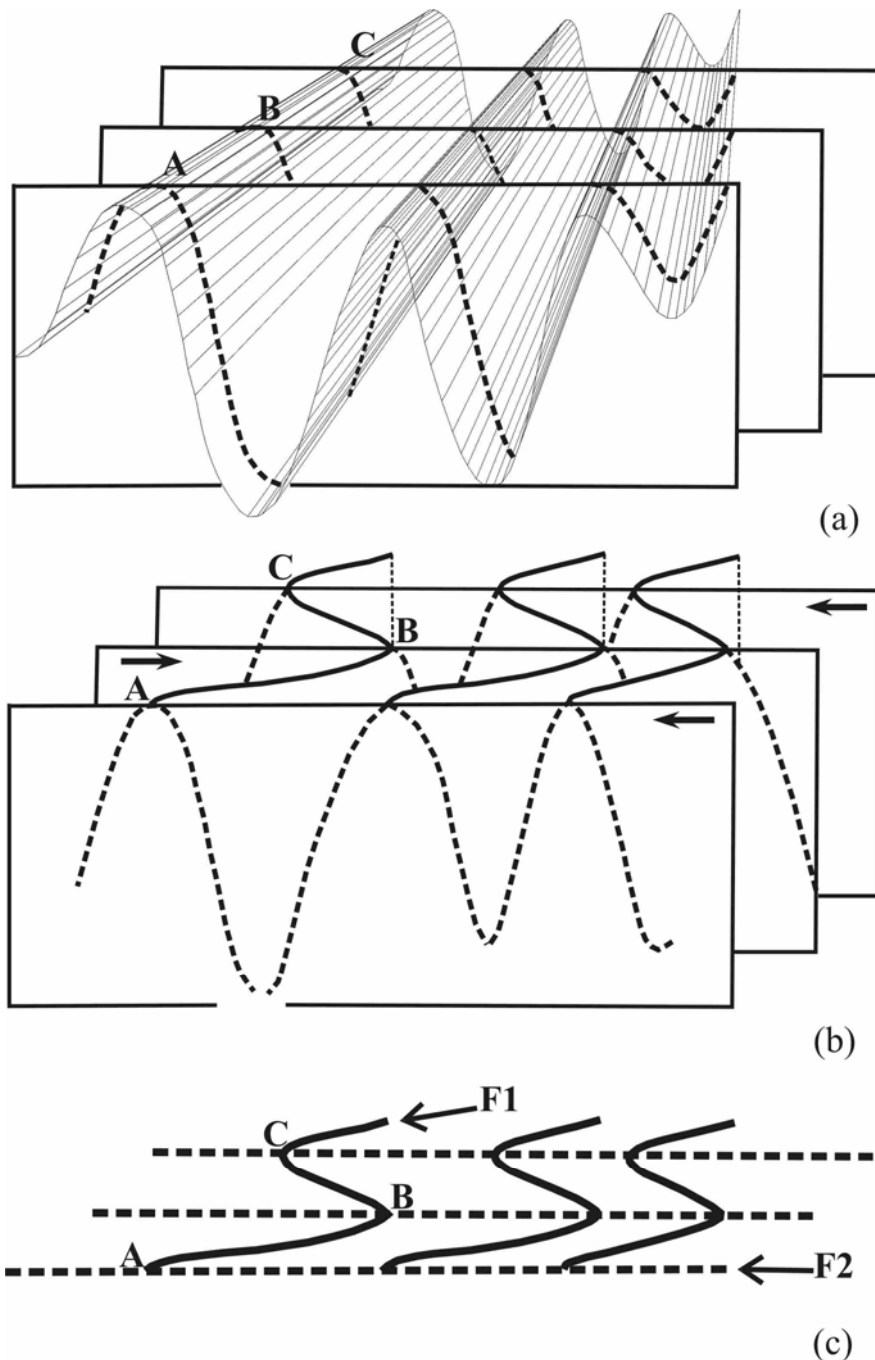
- Долен Девон**
Група Далхаузи
- Djr Свита Жакет Ривер: Пясъчници прослоени с конкреционни варовици.
 - Dms Свита Митчел Сетлмент: Базалтови потоци прослоени с туфи, туфити, лахарни отложения, аргилити и алевролити.
- Силур**
Група Шалвор
- Sbp Свита Бриант Поинт: Мафични вулкански скали, прослоени с аргилити и алевролити.
 - Ss Свита Соуф Шарло: Червени пясъчници алевролити и валунни конгломерати.
 - Sla Свита ЛаВиенле: Сиви до черни ядчести варовици и карбонатни пясъчници и алевролити.
 - Swe Свита Уеир: Червени чакълни и валунни конгломерати прослоени с пиллоулави.
 - Osbrm Меланже Белледуне: Тектонска смес от мафични вулкански и интрузивни скали, и фрагменти от турбидитни пясъчници, аргилити и други седиментни скали.
- Ордовик**
Група Фоурниер
- Opv Свита Поинте Верте: Алкален пиллоу базалт и хиалокластити. Включва малко седиментни скали.
 - Odmv Свита Деверо: Толентов пиллоу базалт прослоен с филити, кварцови ваки и червеникав дребнозърнист пясъчник и силцит.
 - Oelm Свита Елмтри: Филити и филитизирани аргилити, ламинирани алевролити и малко варовици.

Фиг. 6. Геоложка карта модифицирана от компилационнен геоложки доклад. Langthon, J. 2003. Compiled geology of the Elmtree inlier area. New Brunswick Department of Natural Resources, Minerals Policy and Planning Division, Map NTS 31-P/13.



Фиг. 7. Равноплътна стереографска проекция на полюси към 115 пластови повърхнини от района показан на Фиг. 6. С големи кръгове са показани осовите повърхнини на 12 гънки директно измерени на терена.

За района показан на Фиг. 6 е предложен прост модел на нагъване (Фиг. 8), който се изразява в следното: 1) Пластовете са нагънати в ранни изправени гънки; 2) Втора нагъвателна фаза “срязва” ранните гънки и формира нови осови повърхнини ориентирани на североизток. На картата се наблюдава именно този рисунък на пренагънатите осови повърхнини.
 Изложената *интерпретация не е единствена*. Теренът може да се интерпретира и като еднократно деформиран.



Фиг. 8. Модел на двукратна деформация изграден въз основа на картата от Фиг. 6.

VI. КАРТИРАНЕ НА МНОГОКРАТНО ДЕФОРМИРАНИ ТЕРЕНИ С ПРЕОБЪРНАТИ ПЛАСТОВЕ.

При преобръщане на пласторедата изграждането на точна стратиграфска схема значително се усложнява. В неметаморфозирани седиментни и вулкански терени могат да се разпознаят голям брой критерии за горнище и долнище на пласт. В терените с ниска и средна степен на метаморфизъм това също е възможно в значителен брой случаи. Във високо метаморфните терени е практически невъзможно да се потвърди посоката на подмладяване. Публикувани са някои хипотетични критерии за горнище и долнище в мигматизирани скали със заличена първична структура но те са твърде ненадеждни и досега не са намерили широко приложение. За целите на литостратиграфията е от значение да се проследят определени нива, и за това детайлният структурен анализ може да бъде от голяма полза.

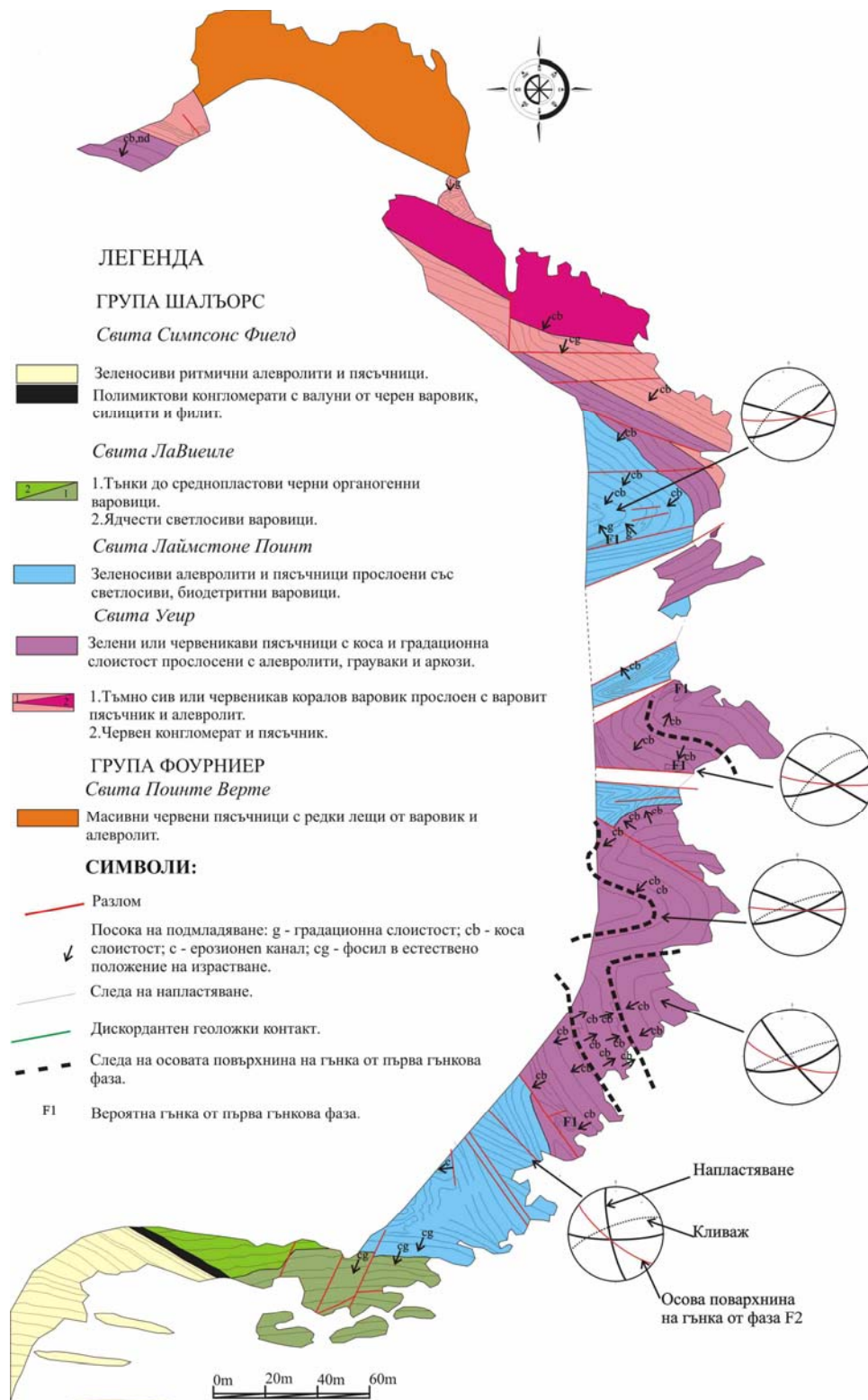
Като пример за картиране на многократно деформиран терен е показана карта от крайбрежната зона на северен Нови Брунзуик (Фиг. 9). На картата са проследени две гънкови генерации, като с дебела прекъсната крива е означена нагънатата осова повърхнина на гънките от първата фаза.

От пръв поглед обясняването на картният рисунък с две гънкови генерации е задоволително ако не се отчете фактът, че многобройни критерии за горнище и долнище на пласт показват преобрънат пласторед. Установява се смяна на посоката на подмладяване при преминаване през осовата повърхнина на гънките. Такава смяна на посоката на подмладяване е ясно указание, че гънките са наложени върху пласторед, който вече е бил преобрънат Фиг.10.

Следователно деформационната последователност в тези скали може да се **интерпретира** чрез следните събития: 1) Преобръщане на пласторедата в най-ранната деформационна история. 2) Формиране на изправени тектонски гънки; 3) Нагъване на гънките образувани през етап (2).

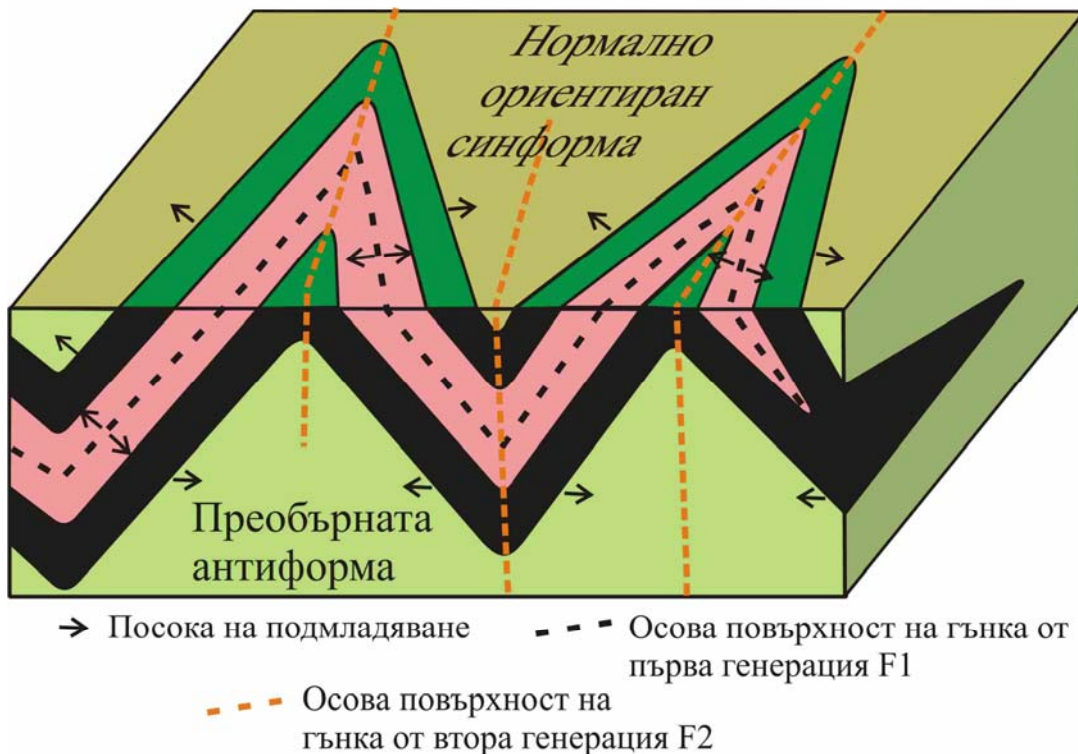
Деформационните събития (2) и (3) могат да бъдат характеризирани с модела от Фиг. 8, тоест чрез една проста схема на гънкова интерференция. Първото събитие обаче би могло да остане незабелязано ако не бъдат намерени критерии за горнище и долнище на пласт.

Във високо метаморфен терен преобръщането на пласторедата би могло да бъде установено само при добра примерна разкритост, например високопланински терен, или чрез сондиране, като се разкрие долното лежащо бедро на преобрънатата гънка.



Фиг. 9. Геоложка карта на част от източното крайбрежие на северен Нови Брунзуик. Dimitrov I., McCutcheon S., Williams P.F., 2004. Stratigraphic and structural evidence for Silurian tectonic activity in northern New Brunswick. Poster presentation, Canadian tectonic group meeting, Saint John, 2004.

БЛОК ДИАГРАМА НА ПРЕОБЪРНАТ И НАГЪНАТ ПЛАСТОРЕД



Фиг. 10. Изменение на направлението на подмладяване на пластовете в преобърнати и нагънати пластове.

VII. КАРТИРАНЕ НА СРЕДНО И ВИСОКО-МЕТАМОРФНИ ТЕРЕНИ.

VII.1. НЯКОИ ОСНОВНИ КОНЦЕПЦИИ.

От философска гледна точка последните 20-30 г. бяха доминирани от задълбочен спор между поддръжниците на концепцията на полиметаморфизма и поддръжниците на представата за прогресивният метаморфизъм.

Под *полиметаморфизъм* обикновено се разбира метаморфна еволюция протекла в значителен период от време, който включва няколко орогенни събития. При такава еволюция деформациите от по-младите орогенези се налагат върху продуктите на по-старите събития, като частично ги асимилират и видоизменят.

Значителни събития, такива като ерозия и седиментация свързани с отваряне и затваряне на океански басейн разделят глобалните деформации. Като пример за полиметаморфна преработка може да послужи налагането на Алпийски деформации върху по-стари Вариски деформации в Южна Европа или налагането на Акадски деформации върху Таконски деформации в Северна Америка.

Класическа обосновка на концепцията за полиметаморфизъм (Фиг. 11) можем да намерим в работите на Ескола и особено в една негова публикация от 1948

озаглавена “Проблемът на мантийните гнайсови куполи” (The problem of the mantled gneiss domes, Escola P. 1948).

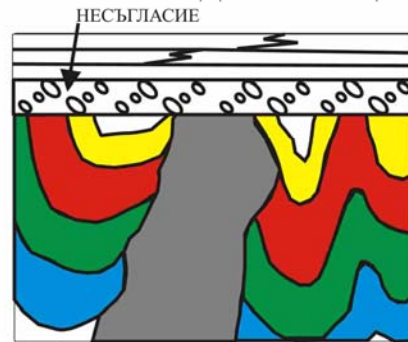
ЕВОЛЮЦИЯ НА КУПОЛ С МЕТАМОРФНА МАНТИЯ.

(THE PROBLEM OF MANTLED GNEISS DOMES, Escola, 1948)

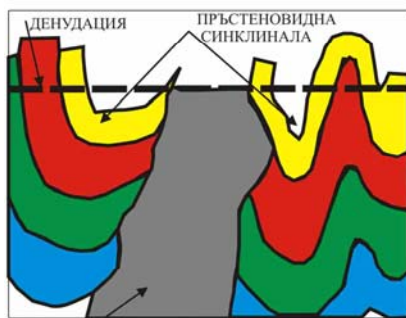
I ЕТАП НА СЕДИМЕНТАЦИЯ



III ВТОРА СЕДИМЕНТАЦИЯ



II ПЪРВА ОРОГЕНЕЗА



IV ВТОРА ОРОГЕНЕЗА



Фиг. 11. Еволюция на гнайсов купол в хода на две глобални деформационни събития. Фигурата е модифициран вариант на оригиналната схема на Пенти Ескола от 1948 г.

На територията на България пример за тектонска еволюция по модела на Ескола е еволюцията на Сакарският купол. Геоложката карта на Сакар бе усъвършенствана в продължение на 30 г. от И. Боянов, С. Савов, Д. Кожухаров, Г. Чаталов и др. На тази карта (Фиг. 12) се разпознават всички елементи от класическата схема на Ескола.

В ядрото на купола се разполага гранит считан от много геолози за палеозойски. Гранитът включва голям брой ксенолити от нашистени високометаморфни скали. В мантията се разполагат високометаморфни скали с палозойска или докамбрийска възраст в които този гранит е внедрен. Върху високометаморфните скали е разположена повърхност на несъгласие проявена в регионално развитие на груб полимиктов конгломерат. Върху този конгломерат са наложени продуктите на нова

морска седиментация, които на свой ред са нагънати и метаморфозирани заедно с несъгласието под тях.

Второто нагъване може да бъде датирано като алпийско. От север и юг на Сакарският плутон са разположени две синклинали редуцирани от разломи. Те са известни като Тополовградска и Лисовска синклинали.

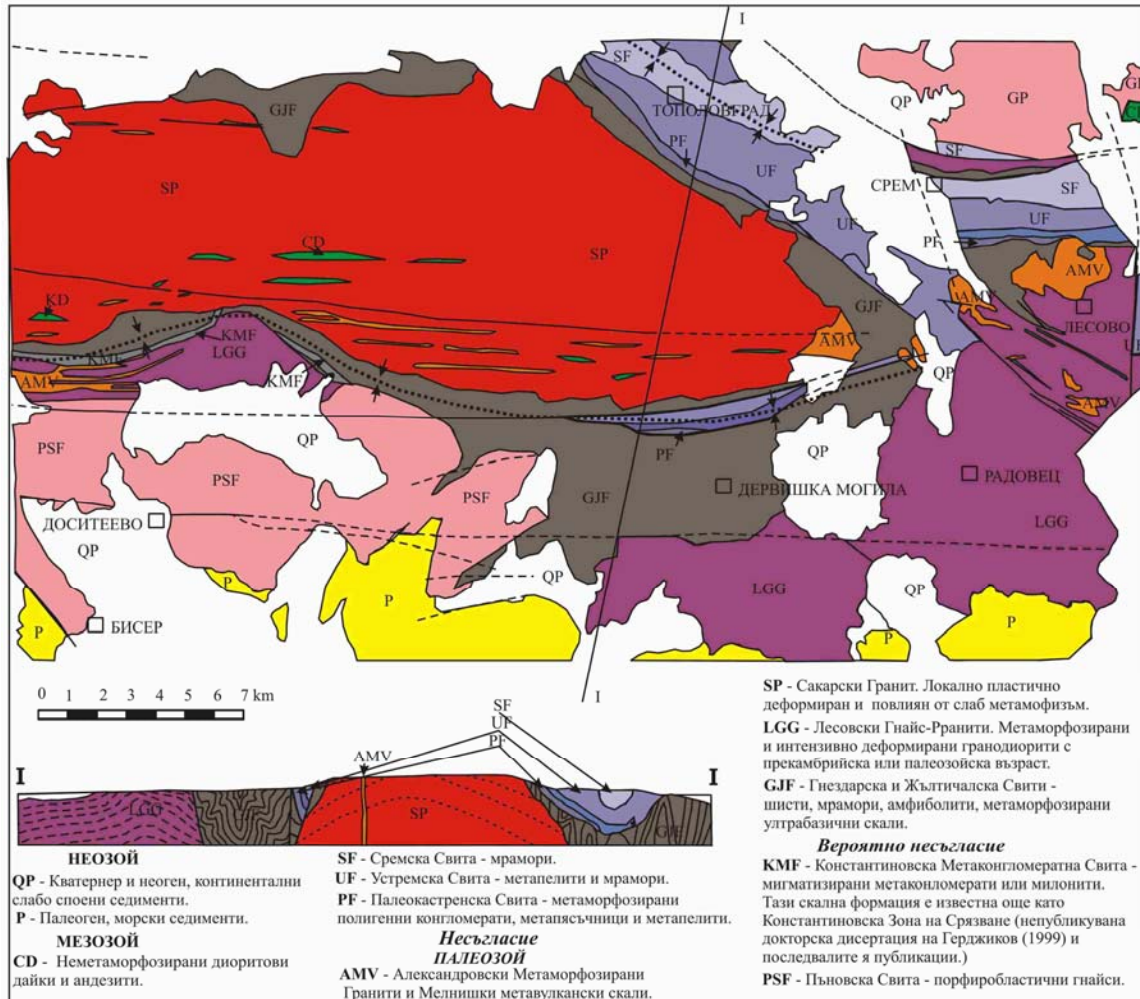
Тези синклинали (rim synclines) индикират за повторно внедряване на Сакарския плутон като твърд диапир през Алпийско време.

Идеята на този **модел** (предложена устно от Д. Яранов през 1962 и преразказана от С. Савов през 1988) е, че плутонът е бил частично изведен до дневна повърхност и частично денудирани с отлагане на конгломератите. После е бил отново погребан и нагрят. Поради малката плътност на гранита (който винаги се стреми да изплува нагоре) и термичното въздействие, което води до разхлабване на хватката на вмествашите скали, плутонът е изпъзлял нагоре отново в алпийско време и се е внедрил в скалите от вторият седиментационен етап образувйки пръстеновидните синклинали.

Подобни модели на диапирно внедряване с образуване на пръстеновидни синклинали са характерни за гранитите и са добре обосновани в съвременната литература (Weinberg, R.F., Podladchikov, Y.Y. 1995. The rise of the solid-state diapirs. Journal of Structural Geology, v.17,n.8, pp. 1183-1195, вижте цитираната литература).

Прогресивната метаморфна и деформационна история най-често се разпознава в скални домени, подложени на повече или по-малко непрекъсната преработка във времеви обхват на едно орогенно събитие. Този деформационен сценарии е изкуствен, поради факта, че във всяка деформационна обстановка температурата и налягането се променят и това многократно прекъсва деформационният процес. На практика е невъзможно да се измерят продължителностите на деформационните събития и да се разпознаят прекъсванията в деформационния процес.

Всеки голям орогенен цикъл е изграден от подетапи, които отразяват отваряне и затваряне на локални седиментни басейни и импулси от интрузивна дейност разделени от по-спокойни периоди. В резултат на това се проявява полиметаморфна еволюция в рамките на един орогенен цикъл. Като пример за това може да послужи наскоро разпознатата “Салинна” фаза, която включва ерозия и деформация проявена в рамките на Акадската орогенеза в северните Апалачи но не и в централните и южните Апалачи. Съвсем вероятно е подобни локални събития да са проявени и в рамките на Алпийския цикъл.



Фиг. 12. Геоложка карта на Сакар модифицирана от работата на Савов (1988) (Савов С., 1988: Обзор строения Сакарской области. В "Линеаменты как структуры сочленения разновозрастных складчатых областей и их металогении". (Ред. Боянов И., Савов С., Грозданов С.), БАН, сс. 98-114.)

Друга важна концепция свързана със синметаморфните деформации е концепцията за *времето трансгресия* на орогенните събития (*time transgressive orogenesis*). Вероятно най-добре защитена е тази концепция в северните Апалачи, където е доказано, (Bradley et. al. 2000. U.S. Geol. Surv. Prof. Pap.1624, 49 p.) че в рамките на 40 мн. г. академичният деформационен фронт е мигрирал около 250 км на север, направо на орогена. Тази миграция се потвърждава от подмладяване на магматизма в същата посока и от синхронни на миграцията нагъвателни движения. Миграцията направо на орогена се обяснява с континентална колизия в същата посока, която е прогресирала с определена скорост. Изоставане във времето на деформация се наблюдава и по посоката на простиране на орогенните системи. Като основна причина за това се излага неправилната форма на континентите, които участват в колизия. Окраините части на континентите се характеризират с издутини и вдлъбнатини, които се сблъскват по различно време.

В следствие на този процес едно и също деформационно събитие (породено от един и същ тектонски процес) може да се прояви по различно време в различни части на орогенната система.

VII.2. ПРОБЛЕМИ ПРИ “КЛАСИФИЦИРАНЕТО” НА “МЕТАМОРФНИТЕ” ДЕФОРМАЦИИ.

Пред метаморфните геолози винаги е стоял проблемът да разпознаят тези деформации, които са “вътрешно формационни”, тоест проявени в обема на определена скална формация и не засягащи цялата скална съвкупност и тези, които засягат всички скали от метаморфния терен.

Подобно разграничаване е необходимо, защото не всички деформации нарушават общата стратиграфска последователност. При картирането се срещат интензивно нагънати и пластично срязани нива, които се следят на значителни разстояния без да излизат от строго определено стратиграфско положение. Такива нива могат да се образуват по много начини, например: те могат да представляват свлачищни хоризонти (като този показан на Фиг. 5); могат да отразяват влачене в крилата на регионални гънки; може да са изградени от по-пластични скали, които се деформират интензивно в мезомасщаб и т.н.

Интензивна деформация в мащаба на разкритие не означава, че цялата скална последователност е интензивно деформирана или, че картираните скални домени не подлежат на литоложка корелация. На практика литостратиграфски нива се следят успешно в регионален мащаб в почти всички метаморфни деформирани терени.

Общите разсъждени върху метаморфните деформации могат да тръгнат в много интересна посока ако се признае, че основната движеща сила в земната кора е гравитацията и, че много деформации протичат в ранните стадии на литификация на седиментите или синхронно с внедряването на интрузивни тела, преди какъвто и да е регионален метаморфизъм.

На практика е невъзможно разграничаването на гънки формирани при синседиментационни срязвания на водонаситени седименти и такива формирани при пластични деформации свързани с метаморфизма. Това твърдение може бъде подкрепено с обширен литературен списък. Синседиментационните деформации са характерни за нива, които не нарушават регионалната стратиграфска схема на басейна в който са отложени.

Като пример, нека разгледаме добре гънките от Фиг. 3 и Фиг. 4. Възниква въпросът, *какво ще стане с тези гънки ако скалите в които са проявени бъдат метаморфозирани в амфиболитов фацис?*

Ако отчетем метаморфната прекристализация, богатият на кварц пясъчник ще се превърне в гнайс а по-дребнозърнестите алевролитни седименти ще се превърнат в слюдени шисти. В такава скала гънките по гнайсовият пласт ще бъдат още по-лесни за забелязване. Ако се прояви и някаква деформация, ранните гънки могат да бъдат частично преориентирани, допълнително сплескани или пренагънати така, че да станат напълно легитимна част от метаморфната деформационна картина.

Тези разсъждения подсказват, че анализ на метаморфни скали само въз основа анализ на деформациите проявени в тях е опасно начинание, което може напълно да обърка нещата.

Често срещан мит е, че метаморфните терени се картират по-трудно от останалите терени поради сложните скали, които са разкрити там. Това може да се оспори лесно. При картирането се маркират скални разновидности и това е всичко. Метаморфните скални разновидности се разграничават лесно, поради свойството на метаморфизма да подсилва литоложкият контраст чрез формиране на характерни минерални парагенези.

Тези, които са работили в неметаморфни терени знаят, че понякога е много трудно с невъоръжено око да се разграничи граувак от базалтова дайка или да се направи литоложко разграничаване на дребнозърнести кластични скали.

В метаморфния терен дайката се превръща в зелен амфиболит а грауваката в слюден шист. Пласт богат на глини се превръща в едрозърнест гранат–ставролитов (или дистенов) шист а богат на кварц пясъчник ще остане сравнително дребнозърнест гнайс или кварцит. Във всички случаи химическите различия се изразяват в контрастни минерални парагенези. Докато в седиментните скали цветът е функция на окислителната форма на желязото то в метаморфните скали цветът на скалите е функция на минералите, които ги образуват.

Друг често срещан мит е че, поради значителната прекъснатост на пластовете метаморфните скали не подлежат на литоложко корелиране и трябва да се изучават само с методите на структурната геология. Структурната геология може да помогне много но в основата на структурният анализ стоят пак скалите. При това първо се прави геометричен анализ и след това се преминава към деформационен или кинематичен анализ. За съжаление съществува практика да се прилага кинематичен анализ преди да е извършен геометричен структурен анализ. Като често геометричен анализ не се прави изобщо. Работата е в това, че кинематичен анализ се прави по-лесно от геометричен или деформационен анализ (при кинематичният анализ се регистрират индикатори на срязване и субективно им се предписва някакво значение като получените резултати не подлежат на обективна критика защото са извън местният геоложки контекст).

В много интензивно деформирани терени *индикаторите на срязване са навсякъде*, в целият деформиран обем на масива. Затова е нереално да се извеждат посоки на срязване или още повече амплитуди на срязване само въз основа на субективно отделени индикатори. В такъв терен е най-добре да се обоснове срязване въз основа на *преместени литоложки разновидности* а ако това е невъзможно по-честно е да се оставят нещата каквито са - тоест, да се задоволим с една по-точна литоложка карта. Реалната структура се проявява сама, когато литоложката карта е достатъчно детайлна и точна.

Добре да се спомене за още един “грех” на някои геолози метаморфисти. Той се състои във факта, че в публикуваните текстове рядко се споменава, че дадена концепция е *модел* или *интерпретация*. Неопитният читател остава с впечатлението, че му се предлага самата научна истина. Коректното представяне на

геоложка информация предполага интерпретационните елементи да се маркират като такива и читателят да бъде информиран за това.

VII.3. МОДЕРНИ МЕТОДИ НА КАРТИРАНЕ НА ИНТЕНЗИВНО ДЕФОРМИРАНИ ТЕРЕНИ.

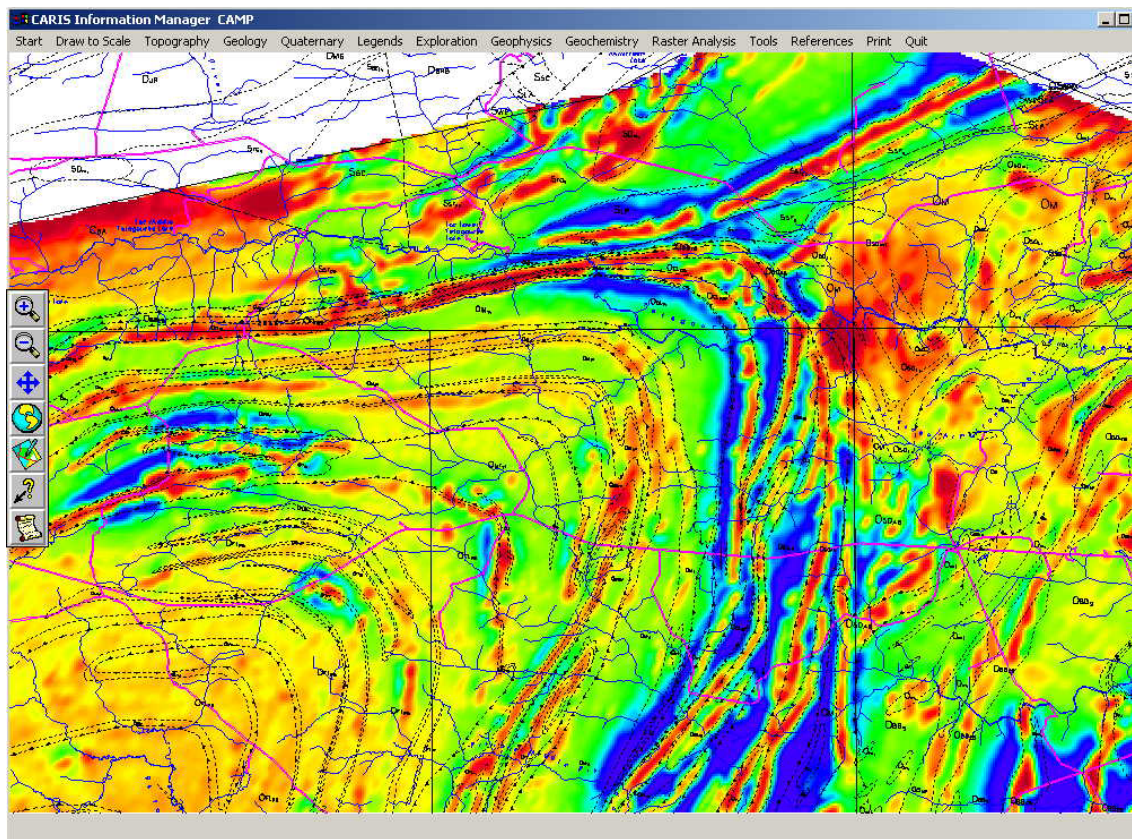
Като най-перспективен метод за проследяване на литоложка изменчивост напоследък се проявява електромагнитната снимка от самолет или хеликоптер. Този метод е много полезен и за разкриване на нови минерални акумулации на дълбочина до 100-150 м. За съжаление методът е сравнително скъп.

На Фиг. 13 е показан район в които е проявен високобаричен метаморфизъм (сини шисти). С различни цветове са показани различни интензитети на електромагнитна проводимост. В различни пластове на софтуера са разположени проводимост при различни честоти, магнитни свойства и други геофизични параметри. Вижда се, че определени нива се следят в регионален мащаб и описват гънки. В района са проявени три метаморфни фолиации, като последната фолиация е субхоризонтална и се интерпретира като резултат на дълбокото погребване на вулканоседиментната последователност.

Многочислени малки и големи гънки и будинаж в макромащаб усложняват терена. Регионалните маркерни нива обаче се следят добре. Електромагнитната снимка от Фиг. 13 е по стара технология и е правена през 1986. Цялата база данни свързана с геофизичното проучване, както и друга информация е достъпна за обществеността срещу 50 \$ – на електронен носител са качени данни за геофизиката, геохимични ореоли на разсейване на метали, минерални проявления с детайлна информация за сондажите (локализация, дълбочина, ориентация на сондажа, съдържание на метали и т.н.).

В Канада е прието, че след кратък карантинен период от време (2 г. в някои провинции) геоложката информация трябва да се освободи за ползване от цялото общество.

Това се прави с цел да се стимулират усилията на малките фирми и на индивидуалните търсачи на полезни изкопаеми и инженер геолози а също и за да се минимизира корупцията при боравенето с тази информация.

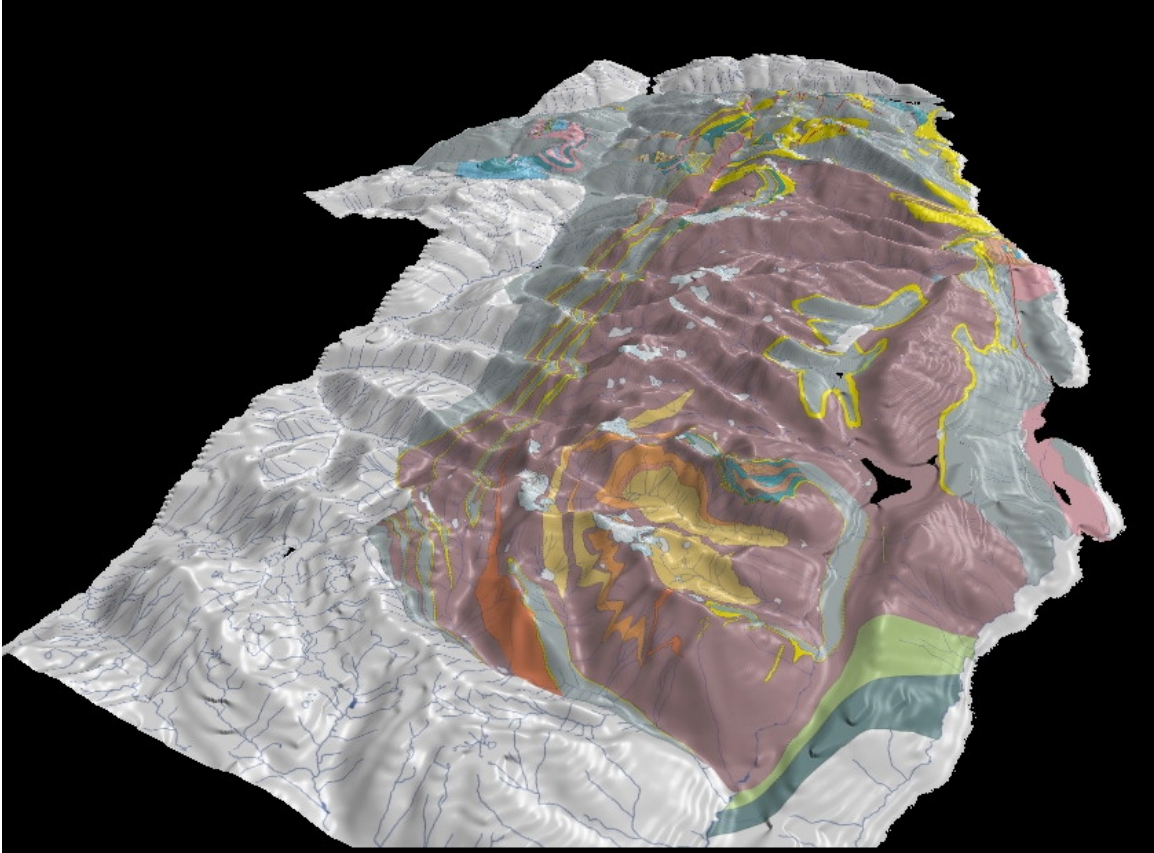


Фиг. 13. Електромагнитна снимка на минния район Батърст, северен Нови Брунзуик. Областта предствлява метаморфен ядрен комплекс от сини шисти и други високобарични скали. С червено са показани скали с висока електропроводимост – метабазалти, шисти с разсеян пирит, железоносни метаседименти, сулфидни находища. Със синьо са показани скали с най-ниска електропроводимост. Геоложките граници са показани с черни прекъснати линии. Основата на картата е около 20 км.

VII.4. НЯКОЛКО ДУМИ ЗА МИГМАТИЗИРАНИТЕ ТЕРЕНИ.

Поради високата пластичност на веществото по време на частичното топене мигматизираните терени изобилстват с дребни деформации и кинематични индикатори на срязване. Вероятността за проява на значителни срязвания синхронни с мигматизацията не е голяма поради почти изотропното стресово поле в интензивно нагнетите скали. Поради значителната изменчивост на малките деформации е опасно да се правят регионално геоложки изводи въз основа само на мезоскопски деформации. Би трябвало малките мезоскопските наблюдения да се привържат към наблюдения в по-дребен мащаб.

Даже и в такъв терен регионални литоложки маркери могат да се проследят. На Фиг. 14 е показан триизмерен картен модел на ядреният комплекс Монаше, който е подхранил редица публикации с приложение на кинематичен анализ. Виждат се добре две маркерни нива: едното е кварцитно ниво, другото е изградено от нечисти мрамори.



Фиг. 14. Тримерен картен модел на ядреният комплекс Монаше, Британска Колумбия с вероятна Протерозойска възраст. Основата на картата е около 30 км. Виждат се две стратиграфски маркерни нива в жълто и оранжево. Картата е любезно предоставена от Стефан Круз от лабораторията по структурна геология на университета на Нови Брунзуик.

Комплексът Монаше е интензивно мигматизиран. Проявени са няколко етапа на мигматизация. Текаат спорове за възрастта на скалите в комплекса, за броят на метаморфните събития в него и т.н. В такъв терен много неща са неясни, включително типът на повечето от протолитите. Остава обаче валиден законът на гравитацията, вследствие на който геоложките тела имат тримерни форми, която се описва като “страта” (пластовост) и следователно подлежат на стратиграфско описание, проследяване и корелация в различни разкрития.