

# ТЕМА 1. ПРИНЦИПИ ОБҐРУНТУВАННЯ НАФТОГАЗОНОСНОСТІ НАДР

## 1.1 Структура об'єкту нафтогазогеологічного прогнозування

### *1.1.1 Критерії нафтогазоносності надр як складові об'єкту прогнозування*

Принциповими є уявлення про обов'язкову реалізацію в процесах нафтогазоутворення і нафтогазонакопичення наступних послідовних етапів:

- 1) генерації ВВ в мантийних осередкових зонах глибинного нафтогазоутворення завдяки процесу первинної внутрішньоосередкової мобілізації ВВ в мантийних осередках - "реакторах";
- 2) вертикальної міграції ВВ з глибинних мантийних осередків генерації в області розвантаження в літосфері завдяки процесу тепломасоперенесення;
- 3) акумуляції ВВ в природних пастках різного генетичного типу і масштабу в земній корі;
- 4) консервації промислових скупчень ВВ в межах родовищ нафти і газу, які формуються на вертикальних струменях глибинних висхідних флюїдальних ВВ-систем, та їх подальшого збереження від різних чинників приповерхневого фізичного руйнування і розсіювання в зоні гіпергенезу шляхом анаеробної, термальної і хімічної деструкції нафт, дегазації та глибинного метаморфізму глибинних ВВ-систем в руйнівних щодо них умовах верхньої частини земної кори.

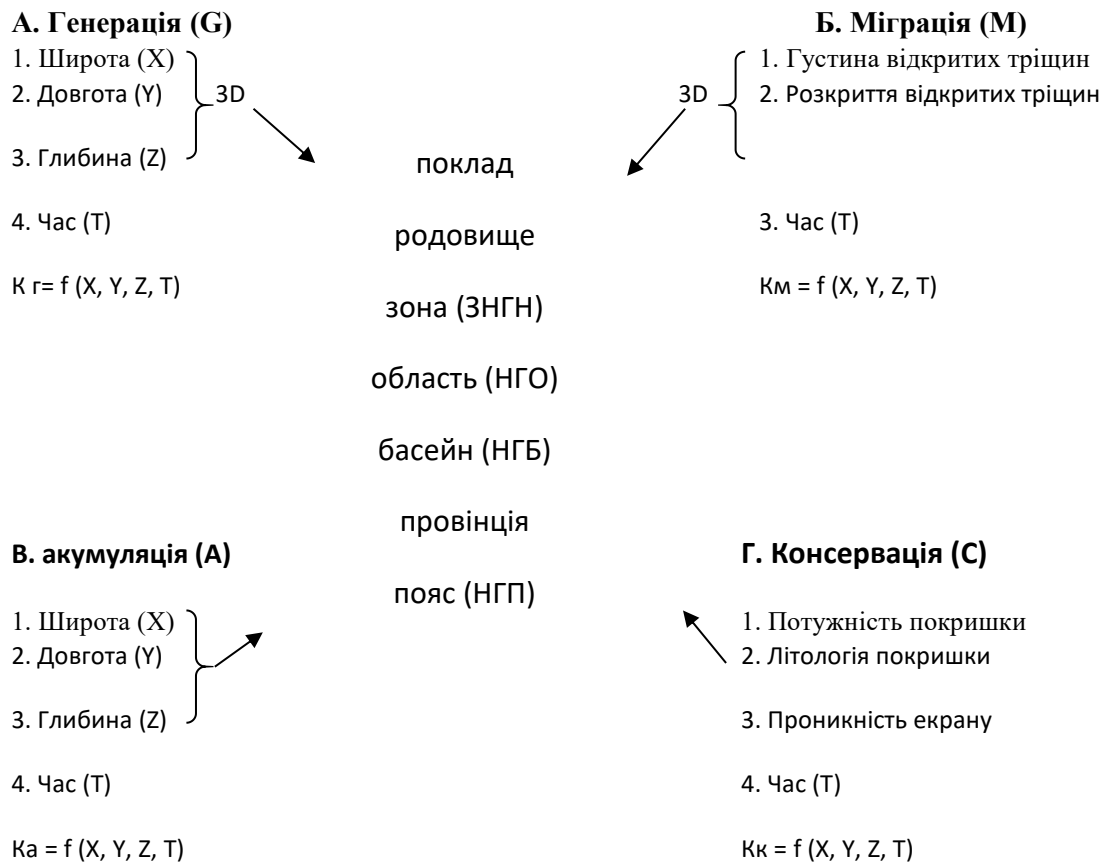
При реалізації усіх чотирьох необхідних і достатніх генетичних умов нафто-утворення і накопичення, або критеріїв нафтогазоносності надр, в рамках єдиного геологічного інтервалу часу, забезпечуються сприятливі геологічні умови для формування покладів нафти і газу. Одночасне невиконання хоча б однієї з цих умов скасовує реалізацію усіх процесів нафтогазоутворення і -накопичення. Неврахування хоча б одного з цих критеріїв не забезпечує результативність будь-якого методу оцінки перспектив нафтогазоносності об'єкта прогнозу і нафтогазогеологічного районування надр.

Отже, *п'ятою обов'язковою та необхідною умовою* (критерієм) реалізації природних процесів нафтогазо-генерації і -накопичення в надрах Землі є одночасне їх протікання в геологічному часі. Розірваність у часі або роз'єднаність в просторі цих процесів виключає нафтогазонакопичення навіть за активного перебігу процесів нафтогазоутворення. Так само і відсутність процесів нафтогазогенерації скасовує нафтогазонакопичення навіть при поєднанні усіх сприятливих умов для формування покладів нафти і газу в земній корі.

Це положення, сформульоване у минулому сторіччі В. Наливкиним як принцип "слабкої ланки" в ланцюзі процесів нафтогазоутворення і

нафтогазонакопичення, надає можливість оцінки нафтогазоносності надр за наявності необхідного і достатнього об'єму даних для побудови прогнозних моделей геологічних об'єктів. Зрозуміло, що точка зору на генезис ВВ визначає набір використовуваних інформативних критеріїв нафтогазоносності надр і методику прогнозування.

Відповідно до сучасних поглядів на глибинне походження нафти і газу та уявлень про природу мантійних осередків генерації ВВ, підхід до обґрунтування нафтогазоносності надр і модель структури об'єкту прогнозу повинні враховувати усі складові елементи процесу онтогенезу вуглеводнів (нафтогазоутворення і нафтогазонакопичення) у чотири-вимірному просторі.



**Рис. 1.** Структура об'єкту прогнозу нафтогазоносності

### ***1.1.2. Основні завдання вивчення об'єктів нафтогазогеологічного прогнозування***

Чотири складових елементи онтогенезу нафти, які є критеріями нафтогазогенерації та нафтогазонакопичення, визначають реалізацію чотирьох геологічних процесів, якими обумовлена структура об'єкту нафтогазогеологічного прогнозу.

**1. Синтез ВВ з первинних елементів - донорів (C – H – N – O – S) та первинна внутрішньо-осередкова мобілізація вихідних глибинних ВВ-систем відбувається в мантійних реакторах.**

За даними лабораторного термодинамічного моделювання і результатами глибинного сейсмічного зондування в якості ймовірного глибинного мантійного осередка генерації ВВ більшістю дослідників розглядається астеносферний шар (сейсмічний хвилевід) верхньої мантії Землі. Мантійне джерело ВВ підтверджується за результатами спостережень флюїдних включень, що містять важкі ВВ у складі ксенолітів і алмазах з нижньої мантії. За словами українського вченого Е. Чекалюка (1980): *"концепція мінерального походження нафти постулювала утворення нафти в певних термодинамічних умовах у відновному мінеральному середовищі без домішок біогенної органічної речовини в середовищі, що містить у своєму складі донатори водню у вигляді гідратів, або вільної води, і донатори вуглецю у вигляді карбонатів, або вільного двоокису вуглецю, а також закисів металів, головним чином заліза, або у вільному незв'язаному стані, або у складі метасилікатів"*.

У рамках пізнання процесів *генезису* глибинних ВВ з метою обґрунтування нафтогазоносності надр вивчаються:

- фізико-хімічні умови і процеси формування глибинних ВВ, еволюція їх складу і властивостей в літосфері і верхній мантії;
- закони глибинної термодинаміки і флюїдодинаміки коромантійних ВВ-систем за результатами експериментального моделювання;
- склад і властивості коро-мантійної речовини і донорів нафтоматеринських глибинних ВВ систем;
- характеристики фізичних, геохімічних і термодинамічних процесів синтезу ВВ у верхній мантії Землі;
- баланс об'ємів генерації, міграції і надходження глибинних ВВ у верхню частину земної кори;
- структурні і геодинамічні умови і властивості коромантійних вогнищ генерації глибинних ВВ;
- геолого-геофізичні ознаки і прогнозно-пошукові критерії картування глибинних осередків генерації ВВ в надрах Землі;
- методи прогнозування глибинних осередків генерації ВВ в надрах.

**2. Вертикальна міграція ВВ** забезпечує зв'язок глибинних мантійних осередків генерації ВВ із зонами розвантаження і нафтогазонакопичення в земній корі і, як наслідок, формування і заповнення природних пасток нафтою і газом. Процес вертикальної міграції пов'язаний з евакуацією ВВ у складі надгідростатичних напірних флюїдних мантійних ВВ-систем на "скрізьмагматичних колонах", які проникають разом із магмою та в складі постмагматичних гідротермальних розчинів з глибинних мантійних вогнищ генерації ВВ у літосферу і земну кору.

У рамках пізнання процесу міграції глибинних ВВ з метою прогнозування нафтогазоносної надр вивчаються:

- процеси первинної внутрішньо-осередкової мобілізації ВВ в мантії і процеси вторинної вертикальної міграції глибинних наднапірних ВВ-флюїдних систем від глибинних осередків генерації у верхню частину земної кори - осадовий чохол і кристалічний фундамент;
- процеси диференціації і фракціонування вихідних мантійних ВВ-систем в компоненти ВВ нафтового ряду;
- властивості каналів вертикальної міграції глибинних ВВ-систем;
- структурні умови і механізми надходження глибинних ВВ у земну кору і подальшої їх концентрації в промислові скупчення, починаючи з процесу *водневої дегазации* мантії і ядра Землі;
- геолого-геофізичні ознаки і прогнозно-пошукові критерії картування зон розвантаження мантійних ВВ-систем в літосфері;
- зв'язки нафтових родовищ з глибинними розломами, які є каналами розвантаження глибинних ВВ-систем шляхом утворення струмів тепломасоперенесення у процесі мантійного діапїризма;
- новітні процеси вертикальної міграції, підживлення і відновлення родовищ нафти і газу, що знаходяться у розробці;
- методи прогнозування зон розвантаження глибинних ВВ-систем в земній корі.

3. *Акумуляція ВВ-флюїдів у літосфері* розпочинається на шляхах висхідних колон напірних мантійних струменів, навколо яких формуються первинні пастки ВВ. Вони служать вихідними ємностями для розвантаження вертикальних ВВ струменів. Колони утворюються в геодинамічних зонах розтягнення земної кори («вікна проникності»). У тектонічно ослаблених зонах земної кори утворюються ділянки тріщинуватого (деформаційного, а не седиментаційного) проникного простору для вторгнення ВВ в гірські породи. Вони формуються за рахунок дислокаційного (гідророзрив і вибухове розущільнення гірських порід в зонах динамічного впливу тектонічних порушень) і гідрохімічного (вуглекислотне вилуговування і гідротермальний метасоматоз) епігенетичного перетворення гірських порід.

У рамках пізнання процесів акумуляції глибинних ВВ з метою прогнозування нафтогазоносності надр вивчають:

- природні резервуари ВВ, які складаються з пород-колекторів і порід-флюїдоупорів, в осадовому чохлі і кристалічному фундаменті нафтогазоносних басейнів (НГБ);
- антиклінальні і не антиклінальні (тектонічно-, літологічно-, стратиграфічно- екрановані) пастки нафти і газу;
- роль напірних ВВ-флюїдів у формуванні природних резервуарів і пасток (гідродинамічних) нафти і газу;
- глибинність і просторовий розподіл промислової нафтогазоносності у надрах НГБ, які визначаються фізичними та ємнісно-фільтраційними властивостями порід-колекторів і флюїдоупорів (щільність, пористість, тріщинуватість, піщанистість, глинистість, карбонатність) та фазового і хімічного складу ВВ;

- особливості будови і механізми формування як традиційних покладів нафти і газу, так і Tight-Gas, Sheil-Oil, метано-гідратних покладів нафти і газу в акваторіях світового океану, областях сучасної вулканічної і гідротермальної діяльності, гірсько-складчастих областях, древніх і молодих платформних НГБ.

4. *Консервація покладів нафти, газу і конденсату* забезпечується сприятливими структурними пастковими умовами впродовж тривалого геологічного часу за наявності надійних порід-флюїдоупорів та літологічних, тектонічних, стратиграфічних, гідродинамічних екранів тощо.

У рамках пізнання процесів консервації глибинних ВВ з метою прогнозування нафтогазоносності надр вивчаються:

- вплив середовища акумуляції вторинних надходжень ВВ, що втілилися в осадовий чохол і кристалічний фундамент НГБ, на перетворення первинних ВВ-систем (газоконденсатні поклади);
- зв'язок об'ємів нафтогазонакопичення, складу і властивостей ВВ-систем з розповсюдженням у надрах НГБ регіональних, зональних і локальних типів флюїдоупорів;
- літологічного складу і емнісно-фільтраційних властивостей флюїдоупорних товщ у зонах нафтогазонакопичення в НГБ.

Згідно цієї моделі структури об'єкту прогнозу, усі складові елементи процесу онтогенезу ВВ (нафтогазо-генерації і накопичення) реалізовувалися на Землі синхронно та неодноразово у геохронології на протязі етапів тектоно-магматичної активізації земної кори.

## **1.2. Принципи нафтогазогеологічного районування територій**

*Нафтогазогеологічне районування* – це сукупність методів досліджень нафтогазоносних територій з метою їх класифікації та розподілу на відносно самостійні та різнорангові складові частини. Ці різнорангові об'єкти прогнозу нафтогазоносності характеризуються певними рисами геологічної будови і характером нафтогазоносності. В основу районування *покладено структурно-літо-фаціальний принцип*, який ґрунтується на аналізі комплексу геологічних критеріїв і полягає у встановленні подібностей і відмінностей геотектонічної будови окремих суміжних територій, визначенні їх літолого-фаціальної характеристики, гідрогеологічних, термобаричних і геохімічних умов, які в сукупності контролюють нафтогазоносність надр.

При проведенні нафтогазогеологічного районування території як основні критерії враховують:

- регіональну тектоніку і палеотектоніку регіону, а також геодинаміку формування геоструктурних елементів, які складають регіон;
- літолого-стратиграфічну характеристику розрізу: палеогеографічні, формаційні та літолого-фаціальні умови накопичення осадів у басейні седиментації;

- гідрогеологічні та палеогідрогеологічні і палеогідродинамічні умови формування, зрозподіл в просторі і часі областей живлення і розвантаження пластових вод, їх складу і напорів;
- геохімічні параметри пластових систем: фазовий стан і фізико-хімічні властивості ВВ, склад водорозчинених газів, концентрації та склад бітумів і розсіяної органічної речовини, що вони містять.

Серед усіх перелічених геологічних процесів, які контролюють процеси міграції, акумуляції та консервації ВВ у надрах НГБ, провідна роль належить геотектонічним процесам, які визначають:

- умови формування та закономірності розташування областей регіонального нафтогазонакопичення;
- утворення сприятливих геологічних структур, які служать природними пастками для акумуляції нафти і газу;
- палеогеографічні обстановки, які визначають умови седиментації в осадових басейнах (розподіл берегових ліній, формаційних комплексів гірських порід) і локалізацію зон літологічних заміщень та виклинювань пластів-колекторів, стратиграфічних і кутових неузгоджень, з якими пов'язано формування неантиклінальних типів пасток нафти і газу;
- зміну регіональних нахилів, які визначають зміни у розташуванні зон живлення та розвантаження пластових вод, переформування та руйнування первинних структурних форм і покладів в їх межах.

Нафтогазогеологічне районування здійснюється на структурній основі з виділенням різномасштабних тектонічних елементів, з якими пов'язані об'єкти нафтогазогеологічного районування різного рангу (*табл. 1*).

В науковому плані районування проводять з метою:

- встановлення закономірностей зв'язку нафтогазоносних територій з геоструктурними елементами земної кори;
- порівняльної оцінки перспектив нафтогазоносності різних частин досліджуваної території, з урахуванням особливостей геологічної будови та формування її значних геоструктурних елементів;
- виявлення сприятливих геологічних умов розміщення прогнозних ресурсів нафти і газу в різних частинах досліджуваної території.

У практичному плані районування проводять з метою:

- виявлення зон концентрацій ресурсів нафти і газу;
- складання планів раціонального освоєння природних ресурсів;
- вибору оптимальних, економічно ефективних напрямів пошуково-розвідувальних робіт на нафту і газ у регіоні.

Табл. 1. Геоструктурні елементи, які контролюють нафтогазоносні території

Одиниці нафтогазогеологічного районування	Платформні території		Складчасті та перехідні території	
	Позитивні	Негативні	Позитивні	Негативні
Нафтогазоносна провінція	Плита		—	Великі западини Системи западин Велика внутрішньо геосинклінальна западина
	Мегаантекліза Антекліза	Мегасинекліза а Великий авлакоген		
Нафтогазоносна область	Сукупність мегавалів Велике склепінне підняття Група склепінь	Синекліза Авлакоген Великий грабен Внутрішньо-платформна западина	Серединний масив	Передовий прогин Міжгірська западина Мегасинкліналь
Нафтогазоносний район	Мегавал	—	—	Депресія Западина передового прогину
	Схили великого підняття			
Зона нафтогазонакопичення	Структурна ступінь			
	Валоподібні підняття	Поховані міжкупольні зони	Антиклінорій	—
	Поховані піщані прибережні вали (типу бар)	Поховані піщані дельти палеорічок		
	Зони регіональних диз'юнктивних порушень, які ускладнюють будову значних геоструктурних елементів			
	Зони регіонального виклинювання літолого-стратиграфічних комплексів			
	Зони регіонального розвитку стратиграфічних незгідностей			
	Райони розвитку солянокупольних структур			
	Райони розвитку рифогенних структур			
	Райони розвитку грязьового вулканізму			
Прирозломні зони розвитку тектонічної тріщинуватості				
Локальні скупчення (родовища поклади)	Брахіантикліналь ВВ Купол та Структурний ніс Одинока рифогенна структура Солянокупольна структура Монокліналь тощо	Синкліналь	Лінійно витягнута антикліналь Брахіантикліналь Одинока рифогенна структура тощо	Синкліналь

Районування нафтогазоносних територій проводиться як за площею, так і за розрізом досліджуваного регіону, охоплюючи весь осадовий чохол.

Об'єктами нафтогазогеологічного районування територій є:

*пастка* – цілий об'єм, або частина природного резервуару, яка здатна акумулювати і зберігати тривалий геологічний час скупчення нафти і газу;

*поклад* – природне локальне скупчення ВВ (нафти, газу, або конденсату) у пласті-колекторі, яке контролюється пасткою зі спільним горизонтальним флюїдним контактом, що відділяє об'єм ВВ від пластової води;

*родовище* – ділянка земної кори, що охоплює елементарний або сукупність покладів нафти і газу, які розташовані в межах однієї локальної структури і мають в плані перекриття своїх контурів нафтогазоносності;

*зона нафтогазонакопичення* – сукупність суміжних і подібних за геологічною будовою родовищ нафти і газу, які охоплюють спільну групу генетично пов'язаних між собою пасток ВВ, розташованих в межах однієї і тієї ж структури більш високого щодо них порядку. Межами суміжних зон нафтогазонакопичення служать вісі улоговин, які розділяють локальні нафтогазоносні структури, а також зони літологічного заміщення та виклинювання пластів-колекторів. Ознаками переходу із однієї суміжної зони нафтогазонакопичення в іншу є поява нових пластів у розрізі нафтогазоносного комплексу, зміна генетичних типів пасток, ступеню заповнення пасток нафтою/газом, фазового стану і фізико-хімічних властивостей ВВ. Зона нафтогазонакопичення є складовою частиною нафтогазоносного району або нафтогазоносної області.

*Нафтогазоносний район (НГР)* – це сукупність суміжних зон нафтогазонакопичення, яка характеризується спільністю геологічної будови і тектонічного розвитку, літолого-фаціальних та інших умов нафтогазонакопичення. Визначальною ознакою НГР є належність зон нафтогазонакопичення, які входять до його складу, до одного й того самого геоструктурного елемента більш високого щодо них порядку. Ознакою переходу з одного нафтогазоносного району в інший є поява нових природних резервуарів у розрізі одного й того ж нафтогазоносного комплексу, зміна генетичних типів пасток, зміни фазового стану, складу і властивостей ВВ. НГР є частиною нафтогазоносної області.

*Нафтогазоносна область (НГО)* – це сукупність суміжних нафтогазоносних районів у межах регіонального геоструктурного елемента (переважно I порядку), які характеризуються спільністю геологічної будови і тектонічного розвитку, включно палеогеографічні умови осадонагромадження і нафтогазонакопичення в НГБ протягом тривалих відрізків геологічної історії. Спільність історії геотектонічного розвитку є головною ознакою, яка визначає наявність у розрізі осадового чохла регіонально витриманих літолого-стратиграфічних і нафтогазоносних комплексів, які містяться в них. Суміжні НГО можуть відрізнятися за геологічною будовою, історією розвитку, літо-фаціальними особливостями осадового чохла, умовами нафтогазонакопичення в осадовому басейні. НГО є



або частиною провінції, або самостійною територією, як наприклад ДДНГО у межах НГБ на території Дніпровсько-Донецької палеозападини.

*Нафтогазоносна провінція (НГП)* – це сукупність суміжних областей, розташованих на значній території. Вона може охоплювати один або групу регіональних геоструктурних елементів, які характеризуються подібністю головних рис геологічної будови і тектонічного розвитку, спільністю стратиграфічного діапазону нафтогазоносності, геохімічних, літолого-фаціальних і гідрогеологічних умов, а також умовами акумуляції та консервації покладів ВВ. Суміжні НГП можуть належати до різних за віком консолідації складчастого фундаменту (на платформах), віком головної складчастості в осадових басейнах (у крайових прогинах і епіплатформних областях) структурним елементам земної кори .

Провінції, області та райони за співвідношенням розвіданих запасів нафти і газу поділяють на нафтоносні (нафти понад 80 %), газоносні (газу понад 80 %), нафтогазоносні та газонафтоносні (за переважанням відповідно газу чи нафти). Провінції за місцем їх розташування належать до платформних, складчастих і перехідних територій. Значна частина провінцій знаходиться на платформах, на яких переважають палеозойський і мезозойський етажі нафтогазонакопичення. Провінції складчастих територій зазвичай приурочені до НГБ міжгірських западин, прогинів або антикліноріїв. Провінції перехідних територій пов'язані здебільшого з НГБ передгірських прогинів.

Основними складовими елементами розрізу НГБ є:

*пласт* – однакова товща порід-колекторів, яка характеризується однорідним літологічним складом та добре витримана у розрізі та за площею;

*резервуар* – сукупність гідродинамічно пов'язаних між собою пластів-колекторів, обмежених зверху і знизу пластами-флюїдоупорами;

*нафтогазоносний комплекс* – це літолого-стратиграфічна товща порід, яка є регіонально нафтогазоносною в межах крупних одиниць нафтогазогеологічного районування і характеризується відносною гідродинамічною ізольованістю та єдністю умов формування покладів ВВ. Комплекс складається із резервуарів, проникна частина яких вміщує промислові скупчення ВВ, а регіональна/зональна покривка забезпечує тривале у геологічному часі екранування комплексу згори. За площею поширення виділяють нафтогазоносні комплекси:

- регіональні - у межах НГП;
- субрегіональні - у межах НГО, НГР;
- зональні – у межах ЗНГН.

### **Контрольні питання:**

1. Які процеси є складовими глобального онтогенезу нафти і газу?
2. Якою є необхідна умова реалізації глобального процесу онтогенезу ВВ?
3. Які геологічні об'єкти є об'єктами прогнозу нафтогазоносності?
4. За якими параметрами визначають процес міграції?

5. За якими параметрами визначають процес консервації?
6. За якими параметрами визначають процес генерації?
7. За якими параметрами визначають процес акумуляції?
8. Які геологічні об'єкти є елементами геотектонічного районування територій?
9. Які геологічні об'єкти є елементами нафтогазоносного районування територій?
10. Які геологічні об'єкти є складовими елементами розрізу НГБ?
11. Якою є наукова мета нафтогазогеологічного районування?

## ТЕМА 2. УЯВЛЕННЯ ПРО ПРОЦЕСИ ГЕНЕРАЦІЇ НАФТИ І ГАЗУ

Походження вуглеводнів є одною із найскладніших проблем геології. З'ясування генезису нафти і газу має не лише науковий інтерес, але й практичне значення, оскільки дозволяє достовірно обґрунтовувати та ефективно проводити геолого-розвідувальні роботи на нафту і газ.

Існують два принципово різних погляди на генезис нафти: органічне (біогенне) і неорганічне (абіогенне, глибинне мантийне) походження.

Сучасна теорія органічного походження ВВ полягає у наступному. Процес нагромадження осадків у водному середовищі осадових басейнів супроводжується відкладанням розсіяної органічної речовини (РОР), складеної з викопних рештків тварин і рослин. При цьому необхідною умовою є накопичення РОР відбувається у «нафтобазо-материнських» (нафто-продукуючих) товщах порід. Це переважно субаквальні глинисто-карбонатні осади, що нагромаджуються в областях тривалого і сталого прогину території в геохімічних умовах відновного (анаеробного) середовища і збагачення РОР ( $C_{\text{орг}} > 1\%$ ). У відновлювальній обстановці досягається ізоляція РОР осадів від окислювання поблизу денної поверхні шляхом їх перекриття непроникними товщами порід. Окрім того, занурення осадів з РОР на глибину, значні товщини і вага осадів, що їх перекривають, сприяють збільшенню тиску і температури у нафтобазо-материнських» товщах порід, що є другою необхідною умовою для здійснення термокаталітичних реакцій органічного синтезу з перетворенням РОР в нафту і газ.

Процес перетворення РОР у ВВ відбувається у декілька стадій. На першій стадії *осадо-нагромадження*, РОР в обводненому осаді зазнає біохімічних процесів перетворення під дією мікроорганізмів. По мірі занурення осадів посилюється внутрішня хімічна енергія РОР під дією зростаючого теплового потоку у надрах осадового басейну і продукуються первинні ВВ. На другій стадії (*первинної міграції*) вони переміщуються із нафто-продукуючих товщ у пласти-колектори. На третій стадії під впливом різноманітних внутрішніх і зовнішніх джерел енергії ВВ у водо-розчиненому стані мігрують у проникному просторі колекторів – між-гранулярному або кавернозно-тріщинному. Пластові води перенасичені розчиненими ВВ ( $P_{\text{нас}} \geq 1$ ) заповнюють пастки у природних резервуарах і припиняють свій рух. Завдяки цьому на четвертій стадії (аккумуляції) ВВ утворюють в верхніх частинах структур безперервну фазу, яка формує поклад нафти і газу. В залежності від характеру прояву подальших тектонічних рухів та інших геологічних процесів ці поклади зберігаються у надрах НГБ тривалий час на

п'ятій стадії (консервуються), або руйнуються на шостій заключній стадії, розсіюючись в літосфері або атмосфері.

Згідно моделей неорганічного походження нафта і газ утворюються із реакційних сумішей  $H_2$ ,  $CO$ ,  $CO_2$ ,  $CH_4$  та ін. найпростіших вуглецевих сполук в результаті реакцій типу:  $CO+3H_2=CH_4+H_2O$  та реакцій полімеризації радикалів:  $CH$ ,  $CH_2$ ,  $CH_3$  та ін. Припускається, що ці перетворення відбуваються в верхній оболонці мантиї – астеносфері, де відбуваються процеси накопичення і підготовки первинних нафтових систем в мантийних осередках-конверторах шляхом хімічних перетворень реакційної суміші.

## **2.1. Основні положення осадово-міграційної теорії органічного походження вуглеводнів**

*Основні положення теорії осадово-міграційного походження нафти і газу (термокаталітична)* згідно уявлень її розробників-геологів органічної школи (І. Брода, В. Соколова, Н. Вассоевича, О. Конторовича) є наступними:

1. Переважна маса сучасних і викопних субаквальних мілководно-морських та озерних осадів вміщує розсіяну вуглецеву органічну речовину (РОР) із середнім вмістом  $\sim 15 \text{ кг/м}^3$ . Вона близька за складом до керогену горючих сланців та вугілля. До складу РОР входять бітумоїди, які містять олійну та смолисто-асфальтову частини. Вміст вуглеводнів (ВВ) у олійній фракції досягає  $0,250 - 0,30 \text{ кг/м}^3$ .

2. Усі осадові породи містять автохтонний бітумоїд із властивими ВВ, що складають основу "мікронафти". Кількість і склад бітумоїда залежать від генетичного типу первинної РОР (гумусова, сапропелева, ліптобіолітова) та ступеню її перетворення на етапах літогенезу. Загальна схема трансформації органічної речовини в літогенезі (Д. Вельте) наступна: в осад надходить вихідна клітинна речовина, що розпалася  $\rightarrow$  подальший перехід у водорозчинний комплекс, що містить амінокислоти + ВВ  $\rightarrow$  перетворення на фульвокислоти  $\rightarrow$  подальше перетворення на гуміни  $\rightarrow$  утворення керогену осадків гумінами разом із лігніном (нерозчинними в органічних розчинниках фракцій розсіяної органічної речовини).

3. На окремих стадіях літогенезу генеруються власні індивідуальні прото- та зрілі ВВ:

- стадіям прото- та седиментогенезу притаманні біогенні ВВ, які у вигляді розчину, або суспензії в водах басейну седиментації складають первину генерацію прото-ВВ в складі "мікронафти" – це переважно олійні кислоти;
- стадії раннього діагенезу притаманна друга генерація ВВ, що утворюється за рахунок життєдіяльності мулових мікроорганізмів (пелобіонтів), що складається із прото-ВВ (олійні кислоти) та зрілих ВВ –  $CH_4$  та тверді ( $C_{15+}$ );

- стадіям середнього та пізнього діагенезу відбувається третя – хімічна генерація ВВ; яку складають гомологи метану;
- стадіям раннього та середнього катагенезу властиві перетворення ранішніх генерацій прото-ВВ у зрілі ВВ. Внаслідок процесів карбонізації вугілля марок Д, Г під час четвертої та п'ятої генерації утворюються рідкі ВВ бензинової та гасової фракції нафти – це головна фаза нафто утворення ("нафтове вікно"). На цій фазі "нафтоматеринські" товщі остаточно реалізують свій потенціал і перетворюються на нафтопродукуючі;
- на етапі пізнього катагенезу відбувається заключна, шоста генерація ВВ, коли в результаті остаточної карбонізації вугілля синтезується  $\text{CH}_4$ .

*Висновки із теорії органічного походження нафти і газу:*

1- джерелом ВВ є вуглецева органічна речовина (РОР), що обумовлює генерацію трьох фаз ВВ:

- твердої – вугілля, керогену горючих сланців та осадових порід;
- рідкої – нафти та нафтидів;
- газової – від сухих ( $\text{CH}_4$ ) до жирних ( $\text{C}_5\text{H}_{12}$ ) вуглеводневих газів;

2- в кожному вугіллі, керогенних сланцях і осадових породах завжди генеруються і співіснують усі три фази, але для утворення вугілля і горючих сланців необхідна первинна збагаченість (концентрована форма органічної речовини), а для утворення нафти і газу достатньо розсіяної форми (вторинна акумуляція);

3- усі великі території сталого занурення континентальної земної кори, що заповнені субаквальними осадовими породами товщиною понад 1,5-2 км, тобто осадові басейни, є територіями нафтогазогенерації, тобто нафтогазоносними басейнами (НГБ);

4- нафта – це суміш генерованих у вільну фазу найбільш стійких гідрофобних продуктів природного процесу фосилізації розсіяної органічної речовини, акумульованої в субаквальних осадових відкладах.

## **2.2. Значення геологічних умов формування і седиментації в осадових басейнах для визначення джерела генерації ВВ**

### **А) Зв'язок скупчень нафти і газу з глибинними розломами.**

Зв'язок структур платформного чохла, в яких формуються родовища нафти і газу, з глибинною тектонікою - пликативними і розломними структурами кристалічного фундаменту докембрійських платформ є очевидним. Розміщення родовищ нафти і газу на стародавніх платформах має певний зв'язок з глибинними розломами і флексурно-скидовими зонами фундаменту, де сформовані численні пликативні дислокації, розломи і зони тріщинуватості. До районів, де такий зв'язок очевидний, належить

Дніпровсько-Донецька палеозападина, вздовж обох бортів і приосьових зон якої протягуються ланцюжки антиклінальних структур з розвіданими родовищами нафти і газу. Іншими районами є лінійні структурні зони родовищ на бортах Серноводсько-Абдулінського прогину Прикаспійської западини, смуги родовищ по берегах Суецької затоки і Червоного моря, родовища нафти уздовж зони розломів Північної Сахари в Африці і газу в грабені Реконкаво в Бразилії. Такий самий характер має нафтогазоносність багатьох періокеанічних прогинів (Нігерія, Габон, Мозамбік, північне узбережжя Мексиканської затоки). На Індійській платформі нафтоносність пов'язана з грабеном Камбій, на Австралійській з грабеном західного узбережжя материка.

На Північно-Американській платформі такий зв'язок ще більше очевидний: розломи зони Балконес-Мексія, що обмежують з південного сходу підняття Бенд по кордону з палеозойським складчастим поясом, тектонічно контролюють розміщення родовищ ВВ Західного Техасу. Два ланцюжка родовищ простягаються біля західного і східного країв горстоподібного підняття "центральної платформи" в Пермському НГБ, де нафтові родовища тяжіють до зон розломів, що відокремлюють цей горст від западин Делавер і Мідленд. Також можна помітити зв'язок локалізації родовищ газу і нафти на північному схилі горстоподібного підняття Амарілья і на західному схилі западини Додж з флексурно-скидовою зоною, яка обмежує депресію фундаменту цієї западини і улоговини Анадарко. Родовища Іллінойсу і Огайо пов'язані з розломами, які простягаються від Великих Озер у депресію середньої та нижньої течії р. Міссісіпі. У Вайомінгу і в інших районах західної частини платформи нафтоносність зазвичай пов'язана з при- та над розломними антикліналями.

З наведених вище даних, зв'язок родовищ ВВ з глибинними розломами, які створюють тектонічно ослаблені зони, проникні для вертикального тепломасоперенесення на гарячих мантійних струмах не викликає сумнівів.

#### **Б) Температурні умови утворення нафти і газу в осадових басейнах.**

Вивчення хімізму нафт з родовищ світу з точки зору термодинаміки фізико-хімічної рівноваги системи приводить до висновку про те, що усі вони утворилися при температурі вище 150-300°C (Кропоткін, 1955, Е.Чекалюк, 1965, Robinson, 1966). За Н. Васоевичем (1967), ВВ інтенсивно генеруються з РОР лише при температурах понад 120°C. Мінімальна температура для відділення з РОР нафтових ВВ складає 90°C, при такій температурі починається вивільнення ВВ з горючих сланців Грін-Ривер (Мідконтинент, США). До того ж температури 150-200 °C (В. Соколов) характеризують процес масового утворення метану в осадових товщах.

Чи є такі температури у осадовому чохла платформ? Приймаючи необхідні вимоги для утворення нафти і газу згідно органічної гіпотези - нафтопродуктивний комплекс в НГБ повинен мати мінімальні товщину 1000 м і температуру 90°C вгорі і 120 °C внизу, утворення нафти було б можливим лише в нижніх шарах осадового чохла найглибших платформних западин. Проте, на більшій площі платформ глибина фундаменту менша 5 км, а температура в низах чохла набагато нижче 120 °C.

На Східноєвропейській платформі температура вище 120°C у поверхні фундаменту властива лише осьовим частинам Прикаспійської, Дніпровсько-Донецької западин і Передуральського прогину. На Північно-Американській платформі таким вимогам відповідають глибокі частини басейнів Західно-Техаського, Скелястих гір, Анадарко і Передапалацького крайового прогину. Для переміщення нафти і газу з таких западин в інші райони платформ, наприклад, з Прикаспійської западини або Передуральського крайового прогину на всю площу Волго-Уральської нафтогазоносною області, необхідно було б припустити дальню латеральну міграцію ВВ на відстань до 400 км. Однак, на шляху подібної міграції було безліч тектонічних, стратиграфічних, літологічних екранів-перешкод, тому цей варіант цілком неправдоподібний.

Отже, на більшості території континентальних платформ в осадовому чохла немає необхідних Р-Т умов для генерації біогенної нафти. Ще більше це стосується колишніх геологічних періодів, коли потужність платформного чохла була ще меншою. Якщо припустити, що температура утворення основного об'єму ВВ у земній корі становить 150-200°C, тоді у більшості платформних НГБ нафта надходить з глибин понад 6-7 км, тобто з кристалічного фундаменту. Проте, оскільки графітізована РОР докембрійських кристалічних порід не може слугувати джерелом ВВ, припускається, що вони надходять з глибоких, підкорових шарів літосфери і мають неорганічне мантієне джерело походження. Підтвердженням є включення бітумів в породах докембрійського фундаменту СЄП, нафтові прояви в девонських інтрузіях і докембрійських кристалічних породах Кольського півострова, розломних зонах в докембрії східних берегів оз. Байкал (Кудрявцев, 1963), що підтверджує припущення про міграцію вуглеводнів з великих глибин.

### ***В) Закономірності розподілу скупчень нафти і газу в нижніх частинах осадового чохла.***

В осадових шарах, що залягають на поверхні фундаменту, зазвичай немає порід, багатих на РОР. Наприклад, на Північно-Американській платформі нижня частина розрізу чохла складається з хемогенних вапняків, доломітів і кременистих порід ордовика і кембрію, а в підшві чохла

залягають аркозові пісковики кембрію. Значна частина нафти в НГБ Мідконтиненту (Додж, Саліна, Форест-Сіті), в западині Іллінойс на родовищах Цинцинаті і Фіндлей видобувається з цих ніжньопалеозойських відкладів та базальних кембрійських аркозів і гранітної жорстви, що утворилася при денудації докембрійського фундаменту, або навіть із свіжих тріщинуватих гранітів (Центральний Канзас).

До району западин Мічиган і Іллінойс, де нафтоносні низи палеозою, прилягає крупний нафтоносний район на околиці Канадського щита. Тут нафта і газ зосереджуються поблизу поверхні фундаменту (газові родовища ордовика на північному березі оз. Ері, газ в кембрійських відкладах штату Нью-Йорк, нафту і газ на о-ві Антикості у відкладах ордовика), або залягають безпосередньо в ньому. Наприклад, поблизу Порт-Артура і Форт-Вільяма на березі оз. Верхнього в Канаді і до району р. Св. Лаврентія, вододілу між Гудзоною затокою та басейном озер Гурон і Верхнього, а також в Адірондакському виступі (рудне поле Едвардс) газові родовища розміщуються серед докембрійських порід. Горючий газ у Форт-Вільямі отриманий також з фундаменту на глибині 335-400 м, а в інших місцях до 1000 м. На родовищі Садбері та на північному березі оз. Гурон (затока Джорджіан-Бей) залягають жили асфальтового бітуму (антраксоліту) серед метаморфічних сланців і гнейсів докембрію. Антраксоліти є також у докембрійських породах провінцій Квебек і Ньюфаундленд. В Скелястих горах (Вайомінг) нафтоносний весь осадовий чохол до базальних пісковиків кембрію включно. Глибинне походження газу на Північно-Американській платформі підтверджується також високим вмістом гелію. На родовищах ВВ Канзасу, Техасу і біля берегів оз. Ері гелієві родовища простягаються уздовж розломів фундаменту на похованому гранітному хребті Немаха, скидовим обмеженням горсту Амарільо тощо.

Скупчення нафти в Західній Австралії локалізовані у вивітрілих і тріщинуватих нижньокембрійських базальтах, що залягають на породах докембрійського фундаменту поблизу розломів. Родовище Білий Тигр (В'єтнам) локалізовано у метаморфізованих кристалічних породах кори вивітрювання і свіжих, тріщинуватих гранітах великого купольного тектономагматичного тіла (плутона).

### ***Г) Палеогідрогеологічні умови седиментації та нафтогазонакопичення.***

Відомо, що верхні 400 - 500 м розрізу осадового чохла платформ є зоною активного водообміну. Вона настільки сильно промита і окислена за рахунок циркуляції підземних вод, що нафта і газ в ній не зберігаються. До того ж розріз осадового чохла зазвичай розділений декількома розмивними



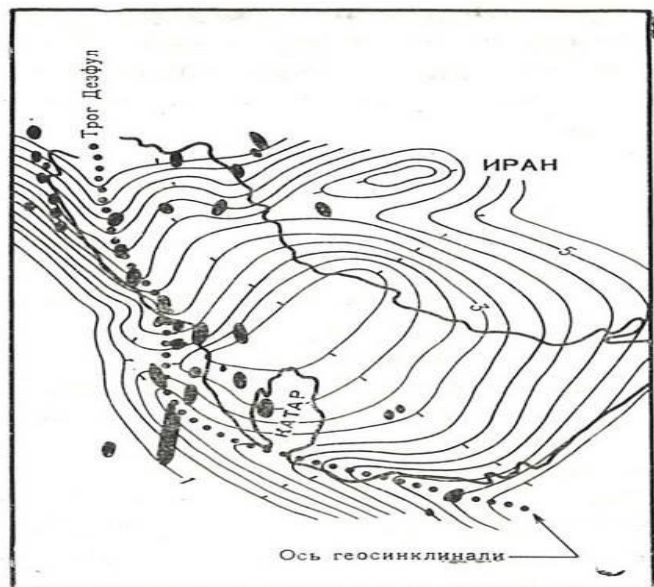
поверхнями внаслідок переривів в осадконакопиченні, тому залягання шарів на цих поверхнях характеризується стратиграфічними незгодами. Кожна з них відповідає тривалим, в десятки мільйонів років, епізодам денудації і являє собою денну палеоповверхню відповідної епохи, нижче якої свого часу циркулювали агресивні до ВВ кисневовміщуючі підземні води. Тому, якщо в ці епохи існували нафтові поклади на глибинах 400-500 м, то вони були б зруйновані під час континентальної перерви у басейні седиментації.

Наприклад, на початку девону територія СЄП була суходолом, тому осадовий чохол, що до розмиву складався з пізньопротерозойських-нижньопалеозойських відкладів невеликої товщини, до кінця раннього девону був розмитий на великій території, за винятком невеликих грабенів (Серноводсько-Абдулінського та ін.), де могла б зберегтися нафта в таких гідрогеологічних умовах. Слідом за відкладанням девонських товщ на заході і сході платформи постала континентальна перерва на початку карбону у турнейському віці. В цей час девон промивався наскрізь на всій платформі, так як товщини девонських відкладів рідко перевищує 500 м. Це повторювалося протягом фаз тектогенезу в кінці палеозою, у мезозої і кайнозої. Наприклад, пермські відклади були залучені в зону гідрогеологічної руйнації одразу ж після свого формування, тому в них не могли зберегтися скупчення ВВ в промислових кількостях.

Таким чином, температурні умови у найбільш глибоких западинах платформ припускають можливість органічної генерації ВВ, проте умови збереження їх скупчень в неглибоких горизонтах, крізь які відбувалася латеральна міграція, не відповідають вимогами гідрогеологічної герметичності. Палеогідрогеологічні обстановки у мезозої та кайнозої цілком виключають можливість збереження палеозойської нафти на всій території докембрійських континентальних платформ, за винятком найглибших западин. Проте в глибоких надрах НГБ немає необхідної геохімічної відновлювальної обстановки, необхідної для утворення нафти і газу.

Таким чином, усі чотири розглянутих геологічних критерія вказують на користь того, що в платформних областях неглибокого залягання фундаменту нафта і газ мають глибинне, неорганічне походження. Разом с тим, для глибоких рифтогенних та крайових западин платформ і міжгірських прогинах складчастих областей зробити такий висновок складніше. У передових прогинах молодих складчастих областей - Передкарпатському, Кубанському, Месопотамському, Венесуельському фундамент занурений на глибини понад 6-7 км, тому тут глибинний тепловий потік достатній для прогрівання осадових комплексів до температур 150-350°C. Вивільнення ВВ при цьому прогріванні із РОР є ймовірним у формі метану та невеликих

кількостей його гомологів. Розломи в осадовому чохла глибоких западин вказують на зв'язок нафтоносності з грабенами у поверхні фундаменту. Наприклад, по покрівлі відкладів тріасу в Східній Аравії простежено вісь геосинклінального трогоу Дезфул (рис. 2).



**Рис. 2.** Родовища нафти і газу району Перської затоки (Hester, 1965). Лінії – ізопахіти, км осадової товщі мезозойсько-кайнозойського чохла; овали – нафтові родовища.

Загальна товщина мезозойських (юрських, крейдових) і кайнозойських відкладів збільшується в межах осадового басейну у троговій западині на 1000-1600 м, в порівнянні з ділянками западини, які розташовуються на південний захід і північний схід від осі трогоу. У вісьовій частині трогоу поверхня тріасу занурена до глибини 2,4-5,5 км, відповідне зниження можна передбачати і в більш глибоких відкладах аж до поверхні фундаменту. Вісь трогоу повторює обриси західного берега Персидської затоки і контролюється глибинними коро-мантійними розломами, що визначили контури затоки. Уздовж його осі розташовуються всі найбагатші родовища Близького Сходу (Саудівської Аравії, Катару і ОАЕ).

Таким чином, на більшій частині платформ, де фундамент лежить на глибині менше 4-6 км, це питання вирішується на користь глибинного, неорганічного походження вуглеводнів. Вважається, що у надрах глибоких прогинів, поряд з міграцією ВВ, води і водню з великих глибин, відбувається термokatалітичний хімічний процес генерації метану та його важчих гомологів з РОР. Адже в жорстких термобаричних умовах ( $T=150-400\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $P=1500-3000\text{ кг/см}^2$ ) глибоких частин прогинів у каталітичних реакціях можуть приймати участь як водень, вуглець і вода корового, так і мантійного джерел.

Незалежно від першоджерела цих сполук, фізико-хімічна рівновага, яка постала у надрах за мільйони років, ініціюватиме процеси генерації ВВ. Це може бути як флюїд, утворений з компонентів, що прийшли з мантиї, або з газових компонентів біогенної органіки, або з комбінованих компонентів у процесі взаємодії корового біогенного вуглецю з воднем, що надходить з мантиї. Таким синтетичним ВВ вважається конденсат, який властивий скупченням у найглибших прогинах континентальних платформ.

Здіймаючись з мантиї, в якій панує надгеостатичний тиск, в корову зону гідростатичних тисків, мантийні флюїди у неглибоких НГБ зазвичай розпадаються на нафту і газ. Підйом глибинної надстисненої нафтової системи та її нададіабатичне вибухове розширення генерує аномально високий тиск в флюїдальних системах підземних резервуарів осадових басейнів, де вертикальними шляхами для міграції надстисненого газу є розломи. Обсяги газоподібних ВВ, які вивільняються з (РОР) завдяки вуглефікації і графітізації у діагенезі в жорстких Р-Т достатньо великі, їх можна приблизно оцінити, порівнюючи хімічний склад перетвореної і незміненої органіки. Спочатку видаляються  $H_2O$ ,  $CO_2$  і  $CO$ , тоді в Р-Т умовах глибоких прогинів відбувається остаточне перетворення РОР з видаленням метану з невеликою кількістю його гомологів. Отже, осадово-міграційну теорію генерації ВВ слід застосовувати обмежено, принаймні доцільно лише до метану і газового конденсату в жорстких Р-Т умовах глибоких НГБ. Осадово-міграційний варіант органічної теорії природно вписується у глобальну концепцію неорганічного глибинного генезису із мантийного джерела ВВ.

### ***2.2.1. Аргументи за і проти корового джерела ВВ***

В рамках проблеми походження нафти і газу утворився внутрішній вододіл між уявленнями про корове (осадово-органічне і синтетичне) і мантийне (мінерально-неорганічне) джерело ВВ. При цьому магматичні гіпотези утворення ВВ можна віднести як до неорганічних, оскільки вони пов'язані з генерацією у магматичних розплавах і мають мантийну природу, так і до корових, оскільки нафтогазоутворення розглядається наслідком реакцій лужної магми, що контактує з осадовими породами у земній корі. Наприклад, "синтетичний" варіант абіогенної гіпотези (К. Севастьянов, 2004), нафтогазоутворення пов'язує з вторгненням ультраосновної, або основної інтрузії в осадові товщі на глибинах більше 3-5 км шляхом утворення магматичної камери-конвертера з трифазним станом речовини (твердим, рідким і газопаровим), у якій відбувається генерація і полімеризація ВВ. У

цьому варіанті грань між коровим і мантійним генезисом нафти досить тонка, і є усі передумови для її віднесення до окремого варіанту органічної теорії.

*Наступні геологічні аргументи свідчать проти корового джерела ВВ:*

1. Аналіз петрологічного складу Землі свідчить про відсутність у земній корі власних джерел ВВ, так само як і первинних донорів ВВ – водню (H) і вуглецю (C), здатних забезпечити глобальне поширення нафти і газу.

2. З урахуванням космогонічних теорій походження Землі, H і C, необхідні для планетарного утворення ВВ, мають ядро-мантійне джерело: "...Рідке і тверде ядро Землі за геофізичними даними побудоване на базі безкисневих сполук заліза, в якому розчинена величезна кількість водню, вуглецю, сірки та ін. газів", які є первинними донорами ВВ (Ф. Летніков).

3. Визнати за глобальне джерело ВВ вторинний, "ресайклінговий" вуглець, включаючи зв'язаний карбонатними породами і РОР осадових порід, що поступають в мантію в зонах субдукції на низхідних гілках глобального «конвеєра» літосферних плит не можна, через незначне поширення зон субдукції (близько 1% поверхні). Масштаб процесу і об'єм РОР, який бере участь в субдукційному процесі, непорівняний як з об'ємом осадової оболонки кори, а тим більше мантії Землі.

4. Ультрасновні лужні породи, що складають магматичні розплави, з якими асоціюють донори ВВ, вміщуючі усі мікрокомпоненти природних нафт, самі є похідними диференціалами мантії, тому магматичні гіпотези не можуть бути віднесені до корових і тим більше осадово-органічних, навіть при припущенні участі в процесі синтезу ВВ корових і навіть осадових порід.

### ***2.2.2. Аргументи на користь мантійного джерела ВВ***

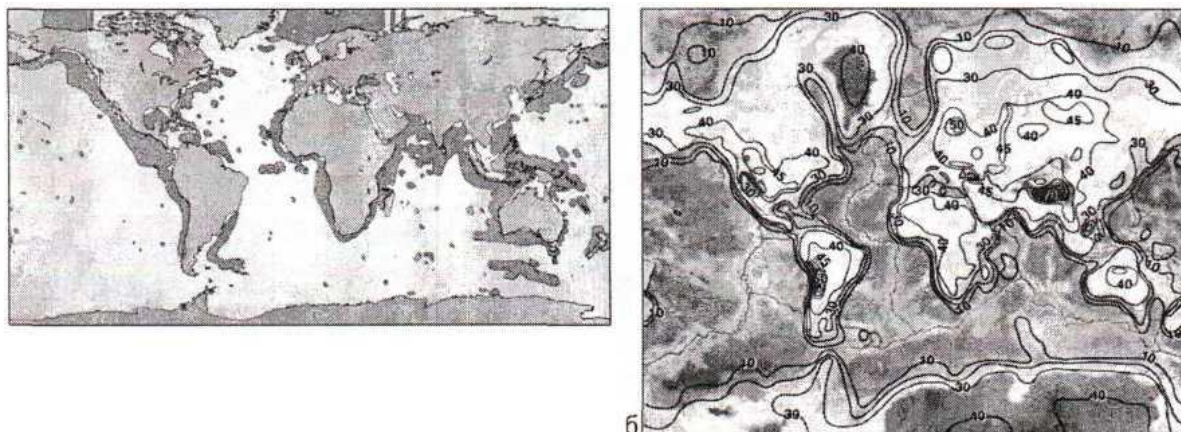
1. Мантія -це найпотужніша оболонка "твердої" Землі, розташована між тонкою земною корою і ядром Землі, складає 83% об'єму планети (без атмосфери) і 67 % її маси. Об'єм ядра дорівнює 16%, маса близько 32 % повної маси, тому на земну кору, включаючи її осадовий чохол, припадає лише 1% обсягу Землі і 1 % її маси. Співставлення обсягу і маси внутрішніх оболонок Землі свідчать на користь того, що тільки мантія і ядро спроможні забезпечити планетарний масштаб виробництва первинних донорів ВВ, генерації нафти і газу та їх відтворення у геохронології.

2. Донори ВВ (C, H) є хімічними елементами ядра і мантії Землі, де вони генеруються, тоді у складі найлегших і рухливіших хімічних сполук акумулюються в астеносферних лінзах – планетарних реакторах з виробництва первинних ВВ, звідки на етапах тектоно-термальної активізації вторгаються у земну кору у складі мантійних діапирів у вигляді надстиснених відновлених флюїдних струменів.

3. Усі оболонки Землі – атмосфера, гідросфера, літосфера, вуглеводнева сфера і біосфера, є продуктами глибинної дегазації і диференціації речовини мантії та ядра Землі.

4. Усі масштабні геотектонічні процеси мають мантійне енергетичне і речовинне джерело і всі геотектонічні структури – мантійні корені. Усі осадові басейни Землі пройшли рифтову стадію і як НГБ, сформовані на висхідних мантійних плюмах за рахунок мантійних джерел енергії (тепло) і речовини (гази, флюїди, магма).

5. Глобальна газогідратність (95 %) дна світового океану свідчить про формування ВВ в тонкому шарі нелітифікованих донних морських осадів плейстоцену, які залягають на базальтовому шарі океанічної кори. За даними Геологічної Служби США сумарні ресурси метаногідратів  $1133 \times 10^{16} \text{ м}^3$  (113 сотень квадрильйонів) у 55000 разів перевищують світові розвідані запаси газу (208,4 трлн  $\text{м}^3$  на 2011р). За відсутності потужного осадового чохла з нафтогазоматеринськими комплексами порід походження газогідратів обумовлене надходженням ВВ з мантії Землі, що залягає в океанах під базальтовим шаром на невеликих глибинах 5-10 км (рис. 1).



**Рис. 1.** Розподіл метано-гідратних полів на континентальних схилах акваторії Світового океану (а) на тлі зміни товщини земної кори (глибини залягання розділу Мохо (б))

6. За даними Г. Буало (1985), склад мікрокомпонентів нафт і лужної магми практично ідентичний, що вказує на їх хімічну спорідненість, спільність первинного середовища співзнаходження і утворення в мантії Землі: "лужні розплави, що утворювались в мантії в ході формування депресій швидкого занурення континентальної кори, з одного боку, є індикаторами структурних перетворень, сприятливих для нафтоутворення, з іншого відіграють роль своєрідного кисневого фільтру для трансмагматичних флюїдів, що виходять з рідкого земного ядра. При проходженні через нього у флюїдах радикально зростало відношення водню до кисневих з'єднань і вони придбавали здатність до формування відновлених нафтоутворюючих систем,

що призводять до утворення родовищ нафти і газу, у тому числі і велетенських".

7. Площа континентальної кори Землі складає 29 % її поверхні. Враховуючи площу базальтових "вікон" в акваторіях внутрішньо-континентальних морів і озер (Середземне, Чорне, Каспійське, Червоне, Байкал, озера Африки) і стоншення кори під великими ОБ усіх континентів (Західно-Сибірській, Прикаспійській, Мексиканській, Китайській, Рейнській, Північноморській, Маракайбо), частка континентальної кори по відношенню до океанічної зменшується у декілька разів від вихідної (29%), що протирічить феномену глобального поширення ВВ.

8. Враховуючи глибинність і термобаричні умови процесу генерації у глибоких НГБ, дані про бітуми і гази, виявлені у мантійних породах та метеоритах, є можливість поєднання трьох концепцій – теорії дегазації ядра та мантії, неорганічної теорії походження нафти і осадово-міграційної теорії утворення ВВ за рахунок термokatалітичних перетворень РОР. Планетарний процес дегазації ядра і мантії обумовив утворення світового океану. Мантія є планетарним джерелом надходження ВВ у глобальному процесі вертикального тепломасо-перенесення, який включає міграцію ВВ у літосфері і земній корі – кристалічному фундаменті і платформному чохла осадкових басейнів. Таким чином, неорганічна теорія походження нафти логічно витікає з теорії дегазації глибоких надр Землі, започаткованої В. Вернадським і А. Виноградовим.

9. Планетарні масштаби онтогенезу ВВ можна пов'язувати лише з глобальними процесами водневої дегазації глибоких оболонок Землі. Нафта і газ мають ядерно-мантійне джерело, яке забезпечує планетаре виробництво первинних донорів ВВ, генерації і відтворення їх ресурсів, що знаходяться в геодинамічній рівновазі між їх глибинним утворенням і руйнуванням у земній корі впродовж геологічної історії Землі.

### ***2.2.3 Термодинамічне обґрунтування генерації вуглеводнів у мантії***

В основу неорганічної моделі генерації ВВ в мантії Землі покладена доказова експериментальна база, отримана українським вченим геохіміком Е. Чекалюком (ІГГК НАН України, 1965) шляхом моделювання компонентного складу глибинної нафти в стані термодинамічної рівноваги в Р-Т умовах мантії Землі. Найважливішими висновками, які зберігають свою актуальність до теперішнього часу, підтверджуючись результатами сучасних термодинамічних досліджень, є наступними:

- хімічні потенціали (рівень хімічної енергії) всіх мінералів і органічних сполук суттєво нижче хімічного потенціалу метану і нафти;

- вихідної речовини, з якої могла б утворитися нафта за рахунок власних енергетичних ресурсів, в природі не існує;

- у земній корі нафта є ендотермічною, геохімічно нестійкою сполукою з тенденцією до деструкції, кінцевими продуктами якої є метан і графіт;

- жоден окремий індивідуальний вуглеводень є термічно нестійким в жорстких P-T умовах верхньої мантії через термічний крекінг;

- в умовах літосфери при низьких тисках усі важкі ВВ нестабільні по відношенню до метану (рис. 2);

- у верхах верхньої мантії термодинамічно стійким є лише метан з домішкою його гомологів;

- метан не полімеризується у важкі ВВ при низьких тисках і будь-яких температурах;

- із заглибленням в мантію у складі нафти з'являються більш важкі ВВ: спочатку насичені, потім алкени і, нарешті, циклічні і ароматичні ВВ (рис. 2);

- в глибинній нафті є всі компоненти природньої нафти;

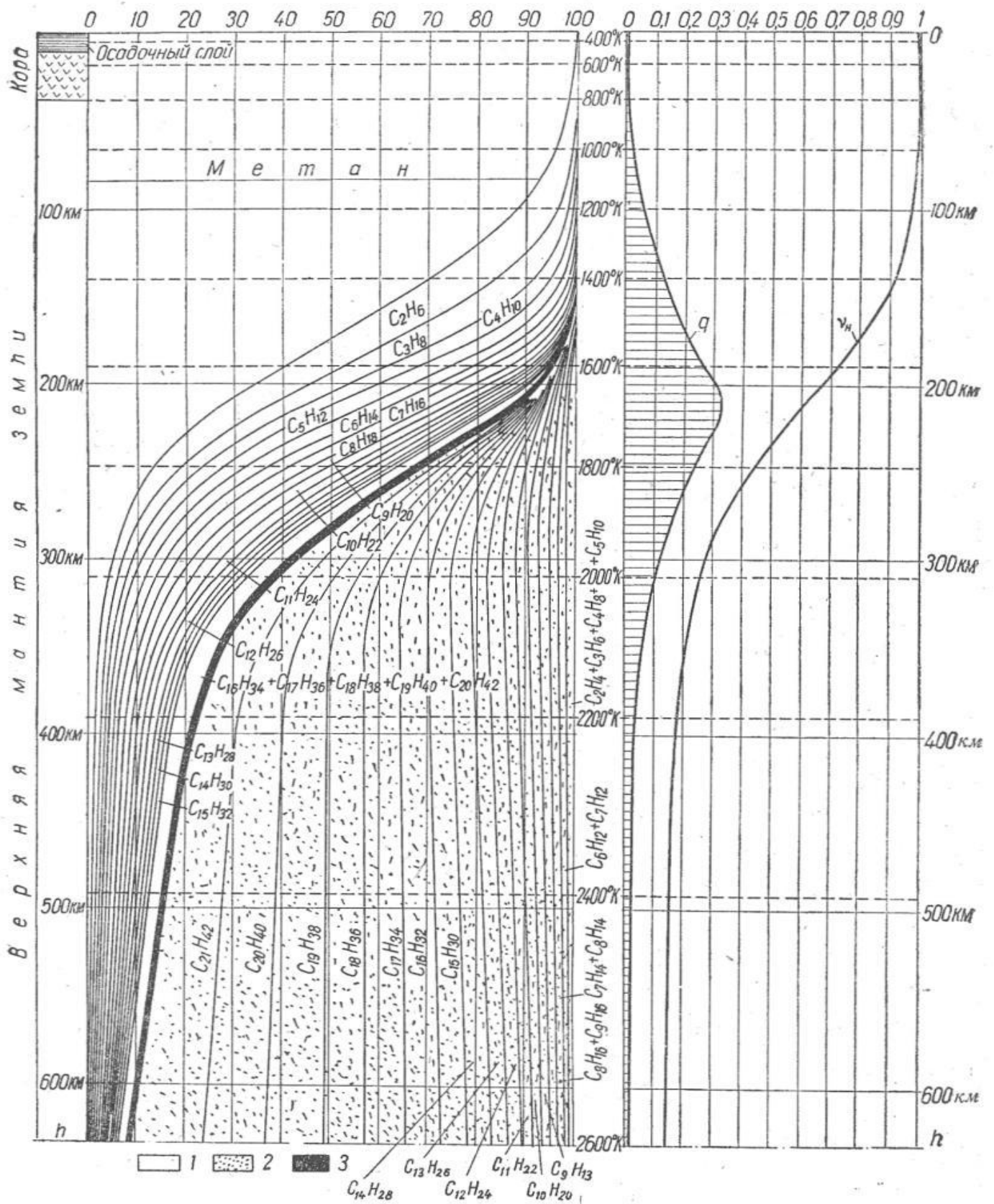
- незважаючи на термічну нестійкість індивідуальних ВВ в умовах мантії, певна суміш ВВ сполук, родинних до нафти, набуває дивовижної термостійкості і може тривалий час перебувати у стані термодинамічної рівноваги без будь-яких змін;

- склад глибинної нафти абсолютно не залежить від вихідної речовини: не лише метан, але і з будь-якого іншого ВВ в мантії утворюється первинна нафта такого ж складу, як і з вихідного метану;

- якщо в складі мантії наявні метан або інші вихідні речовини для синтезу хоча б одного будь-якого індивідуального ВВ, цього достатньо для утворення глибинної нафти в повному складі, тому верхня оболонка мантії (астеносфера) є глобальним невичерпним виробником нафти.

- висновок Е. Чекалюка: "при постійній деструкції нафти в умовах осадового шару і земної кори в цілому, а також її значному поширенню в цьому шарі, впливає необхідність в наявності постійно діючого і потужного джерела нафтогазоутворення, за рахунок якого поповнюються втрати і зберігається баланс запасів нафти і газу в природі".

Пізніше експериментами з моделювання термодинамічної стійкості нафти і важких ВВ підтверджено можливість синтезу ВВ у термобаричних умовах верхньої мантії, зокрема висновок про зростання з глибиною молекулярної маси термодинамічно врівноважених ВВ, синтезованих у верхній мантії. За результатами моделювання встановлено, що нафта і газ утворюються в мантії Землі на глибинах не менше 70-100 км при тисках 20-80 кбар і температурах 800 - 1800° К. Дослідження по визначенню температури утворення нафти за кількісними співвідношеннями ізомерів



**Рис. 2.** Схема компонентного складу глибинної нафти в стані термодинамічної рівноваги, за Е. Чекалюком (1967). Вміст компонентів в вагових відсотках: 1 – алкани, 2 – алкени, 3 – циклани. Властивості глибинної нафти:  $Y_n$  – число молей продукрованої нафти з одного моля вихідного метану,  $q$  – частина вуглецю, що залучена в реакцію, або вивільняється з нафти при її міграції на інтервалі глибин 1 км.



однакового хімічного складу виконані Г. Бойко (1982) за зразками 322 нафт родовищ світу. З'ясовано, що у всіх нафтах ізомери ароматичних ВВ знаходяться у співвідношеннях, відповідних до рівноваги при  $T=1000-1400\text{ }^{\circ}\text{K}$  ( $730-1130\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Термодинамічний розрахунок повного ВВ складу нафти показав, що нафта знаходиться в стані рівноваги в умовах  $T=1600-1800\text{ }^{\circ}\text{K}$  і  $P=2-4 \times 10^3\text{ МПа}$ , що відповідає глибинам 40-160 км.

За даними А. Маракушева (2006): "речовини системи С-Н-О підрозділяються на прості ( $\text{O}_2$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{C}$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ) і складні, до яких відносяться ВВ і органічні сполуки. Складні закономірно вписуються в систему простих речовин, завдяки чому трикомпонентна система С-Н-О розділяється на двокомпонентні підсистеми, в кожній з яких відбувається автономне утворення ВВ і органічних сполук з простих речовин. Флюїдними потоками здійснювався винос ВВ у земну кору в метастабільному стані з глибинних областей їх генерації. У великій метан-вуглецевій фації в земній корі важкі ВВ зберігаються тільки як релікти далеко за межами областей їх термодинамічної стійкості. Нижче критичних значень  $T/P$  метастабільні флюїдні суміші вуглеводнів розділяються на газову і рідку фази, що і призводить до утворення покладів в різній мірі дегазованої нафти і вищезалюгаючих покладів більш міграційно спроможного газу".

Різні глибини розміщення осередків генерації і залюгання покладів ВВ пояснюються тим, що: «з падінням  $P/T$  нижче критичних, флюїд розпадається на рідку та газову фази. При цьому виникають рідкі кислотні фази, які вилуговують осадові породи і створюють порожнини, що заповнюються згодом нафтою. Нерозчинена речовина викидається на поверхню у вигляді вивержень грязьових вулканів".

#### **Контрольні питання:**

1. Якими є основні положення та висновки із осадово-міграційної теорії походження ВВ?
2. Яким є зв'язок скупчень нафти і газу з глибинними розломами і на яке джерело генерації ВВ він є вказівкою?
3. Якими є температурні умови утворення ВВ осадових басейнах на континентальних платформах?
4. Якими є основні закономірності розподілу скупчень нафти і газу в нижніх частинах осадового чохла?
5. Якими є палеогідрогеологічні умови нафтогазонакопичення?
6. Якими є основні аргументи за і проти корового джерела ВВ?
7. Якими є основні аргументи на користь мантийного джерела ВВ?
8. Назвіть основні положення термодинамічного обґрунтування генерації ВВ у мантиї Землі.

## ТЕМА 3. СУЧАСНА КОНЦЕПЦІЯ МАНТІЙНО-КОРОВОГО ОНТОГЕНЕЗУ ВУГЛЕВОДНІВ

### 3.1 Мантийні осередки генерації вуглеводнів

#### **3.1.1 Природа і властивості мантийних осередків генерації ВВ**

Вихідна мінеральна речовина, або донори Н і С - це водень ( $H_2$ ), вода ( $H_2O$ ), метан ( $CH_4$ ), графіт (С), окис (СО) та двоокис ( $CO_2$ ) вуглецю, карбіди, гідриди, сульфідні металів, інші елементи і сполуки, в т. ч. метали, які слугують каталізаторами хімічних реакцій синтезу глибинних ВВ (Д. Менделєєв, Г. Доленко, Н. Кудрявцев, В. Порфірьєв, Е. Чекалюк, Ф. Летніков).

Джерелами донорів ВВ в рамках абіогенно-мантийної теорії є ядро і мантия Землі, Р-Т умови у яких забезпечують винесення у оболонки Літосфери – астеносферу (верхню мантию) і земну кору Н, С, їх сполук і стабільних у цих умовах продуктів синтезу ВВ. Якщо із поглибленням в мантию в складі нафти з'являються все більш важкі ВВ, спочатку, алкани (насичені), потім алкени і нарешті, циклічні і ароматичні ВВ, а метан не полімеризується у важкі ВВ при низьких тисках та будь-яких температурах, припускається, що важкі ВВ, поряд з первинними донорами, є складовими елементами нижньо-мантийних плюмів. Вони входять до складу їх флюїдно-газових оболонок, що утворюються в апікальних частинах плюмів і забезпечують кумулятивне проплавлення мантиї, з подальшим їх розвантаженням в астеносфері з формуванням флюїдизованих антеолинз і тоді внаслідок плюм-діапірізма у земній корі. Астеолинзи (сейсмічні хвилеводи) флюїдизовані і енергонасичені за рахунок виносу водневими відновленими струменями всіх складових елементів і компонентів природних ВВ-систем. Тому вони слугують планетарними реакторами, вміщуючи реакційні об'єми для "дозрівання" мантийних ВВ та осередками синтезу майбутніх самостійних корових нафтогазових систем.

Висхідні нижньо-мантийні плюми, що формуються на висхідних від внутрішнього ядра Землі водневих струменях, також можуть розглядатися в якості реакторів, але вже нижньо-мантийних, і забезпечувати первинний реакційний обсяг для мобілізації вихідних елементів-донорів та синтезу глибинних вуглеводнів в процесі їх надходження на літосферні глибини. Збільшення частки метану в складі флюїдно-газової оболонки мантийних плюмів, що зародилися через розвантаження антеолинз, магматичні і гідротермальні процеси в літосфері Землі, на кшталт серпентізації мантийних

порід - перидотитів внаслідок реакції з ювенільною водою, призводить до зниження концентрації важких ВВ, але не до зменшення їх обсягів.

### ***3.1.2. Прогнозно-пошукові критерії мантійних осередків генерації ВВ***

Прогнозно-пошуковими критеріями нафтогазоносних територій (родовищ, НГЗ, НГО, НГБ) служить їх просторово-генетичний взаємозв'язок з глибинними осередками генерації ВВ (астенолінзами). Астенолінзи утворюють низько-швидкісні, флюїдизовані хвилеводи верхньої мантії, над ними у крихкій земній корі утворюються зони розущільнення, яким властиві мінімуми поля сили тяжіння (в редукції Буге) та максимумами градієнта швидкості новітніх тектонічних рухів. На основі цих критеріїв обґрунтовується зв'язок ділянок з розущільненням верхньої мантії і земної кори з високо-градієнтними зонами неотектонічних рухів і від'ємними гравітаційними аномаліями як шляхів для вертикальної міграції глибинних флюїдів у межі від'ємних тектонічних структур осадових басейнів і, таким чином, пояснюється природний феномен глобальної нафтогазоносності надр Землі.

наведемо основні властивості осередків генерації ВВ, які характеризують їх геологічну будову, відображаються в геофізичних полях та служать їх прогнозно-пошуковими критеріями. Земна кора і літосфера у межах нафтогазоносних територій над шляхами міграції та осередками генерації ВВ характеризується наступними ознаками:

- ділянками підвищеного залягання поверхні Мохо, над якими утворюються позитивні структури (антеклізи, куполи) у верхньо-мантійних і корових шарах;
- розрідженою, флюїдо-насиченою мантією внаслідок вторгнення мантійних серпентинітових астенолітів (офіолітовий плюм-діапіризм);
- тектонічним розшаруванням і розущільненням земної кори з утворенням шару коро-мантійної суміші (корового хвилеводу) зі зниженою швидкістю поздовжніх сейсмічних хвиль і високим електричним опором;
- «океанізацією» земної кори з повною, або частковою редукцією гранітного шару через денудацію на денній поверхні та гранітизацію (ультраметаморфізмом) і гідротермальну переробку нижньо-корових шарів знизу з утворенням «базальтових вікон» в осадових басейнах;
- скороченням товщини і базифікацією континентальної кори над мантійними діапірами, зануренням поверхні кристалічного фундаменту на тлі збільшення товщини осадового чохла у межах осадових басейнів палеорифтових западин і надрифтових синекліз внаслідок наступного компенсаційного обвалення палеосклепінь антекліз протягом тектонічної інверсії;

- підвищеною дислокованістю і розущільненням фундаменту (щільність і глибинність розломів; аномальна розчленованість) в осадових басейнах;
- зниженням щільності гірських порід і відповідно швидкості сейсмічних хвиль, негативними аномаліями геофізичних полів (гравітаційного і магнітного) над великими скупченнями ВВ і зонами нафтогазонакопичення;
- підвищеними значеннями градієнтів амплітуд і швидкостей новітніх і сучасних тектонічних рухів, відображеними в сейсмічній активності надр і морфометричних аномаліях рельєфу (підвищені ухили і розчленованість рельєфу, густина лінеаментів);
- підвищеним флюїдним і пов'язаним з ним тепловим струмом надр.

Ці діагностичні ознаки пов'язують високу неотектонічну активність геотектонічних структур нафтогазоносних територій, інтенсивну тектономагматичну і гідротермальну переробку земної кори на ранніх етапах їх еволюції з тривалим і стабільним розташуванням і функціонуванням астеносферних флюїдизованих діапирів – мантийних плюмів. Особливості глибинної будови і фізико-хімічні аномалії, які властиві усім нафтогазоносним територіям, є генетичними критеріями їх прогнозування.

У пошуках пояснення фізико-хімічної природи наведених зв'язків, звернемося до Е. Чекалюка, який показав, що процес мінерального синтезу ВВ в умовах верхньої мантиї призводить до суттєвого зменшення числа молекул, а отже, до значного зменшення об'єму речовини в зоні термокаталітичних хімічних реакцій синтезу. Наприклад, при синтезі *n*-гектадекану з графіту і води загальне число молекул знижується в 2 рази. При перетворенні метану в гектадекан при надлишку вуглецю число молекул в системі знижується в 8 разів. Отже, зменшення обсягів речовини верхньої мантиї у вогнищах глибинного синтезу нафти суттєво впливатиме на стан ділянок земної кори над ними. Пов'язуючи причини вертикальних тектонічних рухів у корі зі змінами обсягів, або щільності речовини мантиї в процесі хімічних реакцій і поліморфних перетворень, Е. Чекалюк зазначає: "однією з найефективніших причин зміни обсягів речовини мантиї можуть бути процеси утворення глибинної нафти. Мабуть немає в природі іншого мінералу, здатного до таких великих змін об'єму, як нафта. Тому, в процесі утворення глибинного осередка нафти виникає величезний дефіцит об'єму мантиї, в напрямку якого і прогинаються, або провалюються певні ділянки земної кори. Таким чином, багато прогинів і рифтових западин осадових басейнів можуть бути результатом геотектонічної діяльності глибинних осередків нафтоутворення".

Процеси нафтоутворення мають пряме відображення в неотектонічних і сучасних деформаційних полях у вигляді максимумів градієнта амплітуд і швидкості новітніх і сучасних тектонічних рухів, в гравітаційному та магнітному геофізичних полях у вигляді негативних аномалій. Ці зв'язки служать геологічними критеріями прогнозування осередків глибинного нафтоутворення і складають теоретичну базу прогнозно-пошукових технологій, заснованих на вивченні новітньої тектоніки та геодинаміки земної кори, геофізичних полів і геотермічного режиму надр.

З одного боку, як зазначав В. В. Білоусов (1974): "розтягуючи напруги в нижній і верхній мантії можна зрозуміти тільки як результат збільшення обсягу речовини в більш глибоких областях Землі, тобто в земному ядрі". Це прямо пов'язує процеси зародження і розвитку з ядра Землі мантійних діапірів, що здійснюються на водневих струменях до підшови літосфери, з процесами, що відбуваються в мантійних осередках генерації ВВ. З іншого боку, аналіз термодинамічних властивостей глибинної нафти дозволив Е. Чекалюку вказати, що прорив її на поверхню можливий лише в процесі розширення нафтового осередка, тобто в період здійснення земної кори. Пов'язуючи обидва положення між собою приходимо до висновку, що процеси в ядрі та у верхній мантії (астеносферний осередок генерації ВВ) є синхронними. Тобто збільшення об'єму речовини в земному ядрі призводить до викидів водневих струменів в мантію, які акумулюються в астенолінзах і призводять до утворення позитивних структур у земній корі, подальшого рифтогенезу і формування осадових басейнів.

Отже, осередки синтезу ВВ формуються в астенолінзах, згодом розширюються при лавиноподібному прискоренні процесу з утворенням первинних антеккліз у земній корі, тоді різко розущільнюються при прориві глибинними флюїдами земної кори і обвалюють ядерні частини антеккліз, сприяючи початковому рифтогенезу, що згодом переходить в басейногенез внаслідок поглиблення і розширення рифтової долини. Це прямі геотектонічні наслідки функціонування осередків генерації глибинної нафти.

### **3.2. Вертикальна міграція із мантії і розвантаження вуглеводнів в земній корі**

#### **3.2.1. Механізм первинної внутрішньо-осередкової мобілізації ВВ**

За основу механізму внутрішньо-осередкової мобілізації ("первинної міграції") ВВ-флюїдів, згідно теорії глибинного генезису нафти, може бути прийнята модель І. Гуфельда (2013). Нею передбачено "формування

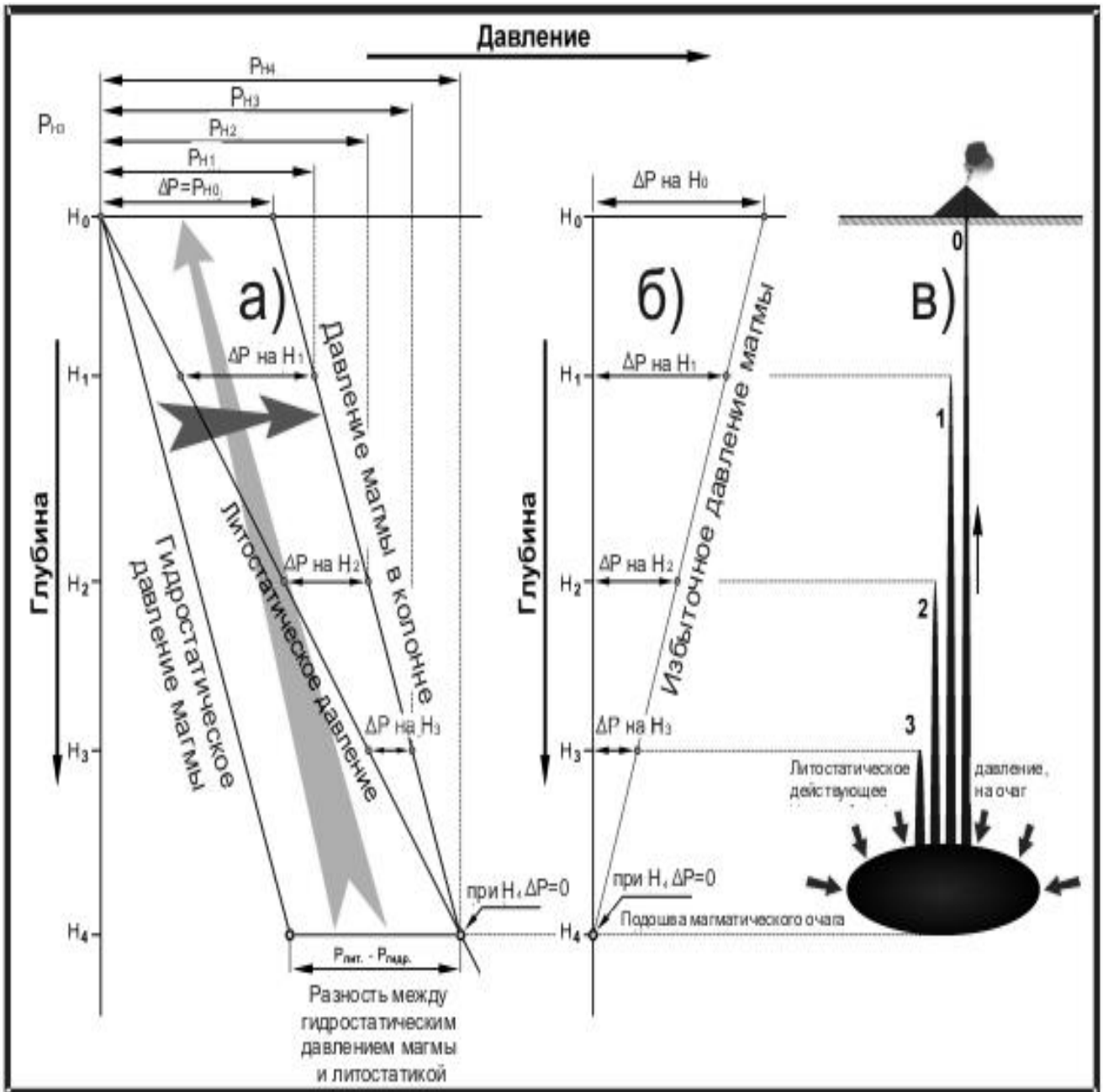
структурних кордонів – бар'єрів для флюїдів в літосфері завдяки взаємодії висхідних струменів Н, Не з твердою фазою, що призводять до утворення газової пористості і мережі тріщин. За рахунок дії Р-Т параметрів і бар'єрного ефекту для середовища характерні деструкція і розвинена тріщинуватість. У корі і верхній мантії на окремих ділянках відбуваються процеси аморфізації структури, що призводить до збільшення пористості і активної дифузії комплексів типу С-Н, О-Н”.

Припускається можливість субгоризонтальної міграції Н-комплексів на великі відстані по горизонтальних зонах бар'єрного ефекту, причому найважливішою з таких зон може бути розділ Мохо. Розділ Мохо може слугувати не лише глобальним реологічним кордоном крихко-в'язкого (земна кора) і в'язко-пластичного (верхня мантія) середовищ, але і межею поширення фронту бар'єрного ефекту аморфізації структури середовища. Він є основою механізму внутрішньо-осередкової мобілізації і первинної міграції мантійних ВВ-систем з глибинних флюїдних компонентів (С-Н-Н-О- $S$  включно метали) у верхній мантії і формування скупчень первинної нафти ("протонафти") у нижній частині земної кори.

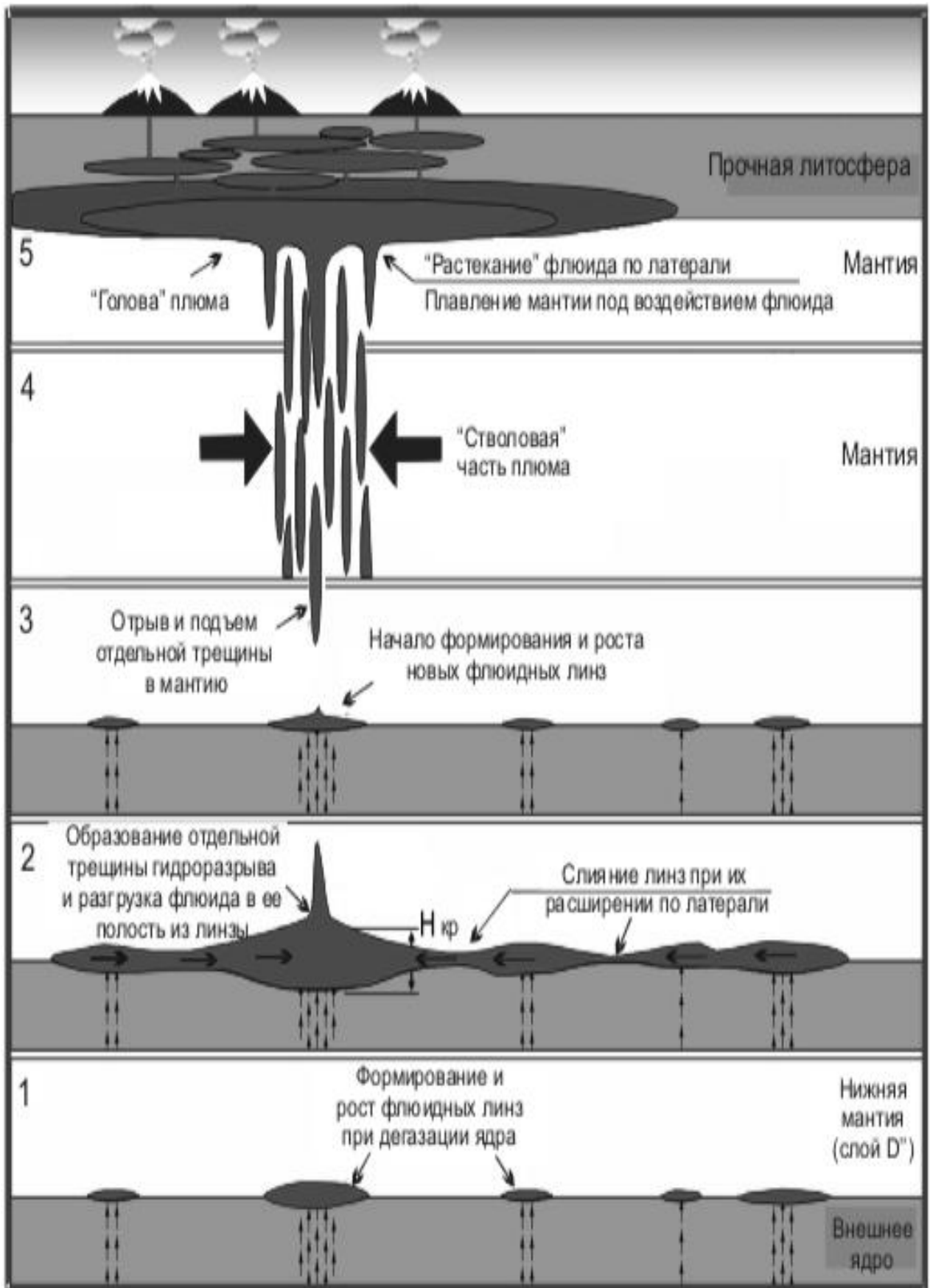
І. Гуфельд вказує: "необхідно зрозуміти реальну роль зон бар'єрного ефекту від розділу Мохо до вищезалягаючих горизонтів у формуванні гігантських родовищ нафти. Є реальною горизонтальна дифузія (струменева) водню і водневих комплексів на великі відстані по зонах бар'єрного ефекту, включаючи шар Мохо, тобто на сотні кілометрів по латералі, підживлення яких відбувається надглибинними струменями водню з мантії". Формування *покладів ВВ флюїдогенного генезису* пов'язується з вертикальною міграцією (напірною фільтрацією) флюїдних струменів у вертикальних "скрізьмагматичних колонах" (Д. Коржинський) на шляхах глибинного тепломасоперенесення.

Механізм виникнення надлишкових тисків в мантійному вогнищі і початку прориву магматичного розплаву до поверхні пояснює *тріщинно-флюїдна модель формування мантійних діапірів - плюмів* (рис. 1). У протяжному магматичному каналі, що бере початок від мантійного магматичного вогнища, виникає надлишковий тиск, за рахунок якого магма підіймається до поверхні. У цій моделі верхньомантійного магматичного вогнища, яка може бути використана як модель астеносферного нафтового осередка, величина надлишкового тиску прямо залежить від глибини залягання материнського осередка, різниці щільностей вміщуючого середовища і магми та протяжності вертикального каналу її вторгнення.

Тріщинно-флюїдна модель пояснює формування флюїдних лінз на кордоні ядро-мантія при емісії ВВ-газу, які трансформуються у флюїдновміщуючі тріщинні, що піднімаються до підшови літосфери (рис. 2). В цій моделі підшва літосфери на межі астеносферного шару грає роль глобального флюїдоупору для мантійних флюїдонасичених плюмів і реологічної межі розподілу середовищ (зона бар'єрного ефекту І. Гуфельда) при міграції вертикальних струменів в астенолінзи мантійних вогнищ генерації ВВ.



**Рисунок 1.** Механізм виникнення надлишкового тиску в мантійному магматичному осередку і в магматичній колоні при прориві у земну кору



**Рисунок 2.** Формування мантійного плюму завдяки підйому флюїдовміщуючих тріщин від кордону ядро – мантія та утворенню астенолінз в верхній мантії



### **3.2.2. Дефлюїдизація мантії і мантійний плюм-діапіризм**

Розрідження речовини мантії і плюм-діапіризм безпосередньо пов'язані з процесами водневої дегазації ядра і мантії Землі і дефлюїдизацією порід, в тому числі в результаті обмінних реакцій, що призводять до вивільнення з них флюїдів і летючих компонентів. Наслідком є рухливість мантійної речовини і її реологічна нестійкість в колоні дефлюїдизації. В апікальній частині колони концентруються відновлені летючі, що забезпечують при адіабатичному розширенні кумулятивне проплавлення мантії і прорив надстиснутої речовини зниженої в'язкості вгору - в напрямку зростання термобаричного градієнта в зону менших P-T. Цей процес в геохронології є миттєвим і може призводити, за рахунок високої швидкості обмінних реакцій і вибухового просування фронту вторгнення мантійного діапіру, до крихкої деформації в'язкої верхньої мантії і формуванню розкритих розривів (тріщин відриву). Висока дислокованість середовища забезпечує просування фронту летючих і флюїдів в колоні дефлюїдизації діапіра по тріщинах розсуву в аморфному субстраті мантійного середовища на висхідних газофлюїдних (воднево-водно-метанових) струменях.

У верхній мантії та літосфері процес підйому колон дефлюїдизації реалізується в розрядці сейсмодіслокацій при вивільненні пружної енергії і випереджальних імпульсах глибинних газо-флюїдних еманаций, які в земній корі (фундамент і осадовий чохол) акумулюються з формуванням покладів пластово-стратиформних і жильних флюїдогенних корисних копалин, включно рудну мінералізацію (гідротерма літи), нафту і газ.

Сприятливими фізико-геологічними передумовами формування фронту дефлюїдизації і виділення флюїдів і летючих компонентів в зонах глибинних розломів фундаменту є обставини, коли збагачені газами високонапірні флюїди досягають границь розділу реологічних властивостей порід (покрівля астеносферного шару–розділ Мохо, покрівля кристалічного фундаменту-чохол осадового басейну). Створюючи градієнтні бар'єри петрофізичних і пружно-деформаційних властивостей, ці структурно-реологічні поверхні є зонами для формування критичного градієнту тиску, скипання розгазованих флюїдів з експлозивним збільшенням об'єму флюїдного діапіру та різким збільшення проникності геосередовища щодо втілення геофлюїдних колон.

Як показав А. Бетехтін (1955), при різкому зниженні тиску під час прориву флюїдного діапіру в тріщинувато-пористе середовище осадового чохла, і при переході стисненої суміші з надкритичної в докритичну область за рахунок адіабатичного розширення газових компонентів (H<sub>2</sub>O, CO, та ін.),

газово-рідка суміш з ВВ-системами здатна до збільшення обсягу, що вторгається, від декількох до сотень разів. Наприклад, при зниженні тиску від 1000 атм до атмосферного при постійній температурі, обсяг CO<sub>2</sub> (вуглекислоти) збільшується у 500 разів. Область концентрації активних газів у фронтальній частині флюїдного діапіру перетворюється таким чином на зону потенційної експлозії і вибухових брекчій.

Деформаційний процес і флюїдодинамічний імпульс складають дві сторони єдиного геодинамічного процесу, взаємно прискорюючи і посилюючи одне одного, забезпечують вибуховий прорив, при одночасному кумулятивному випаленні гірських порід високотемпературними агресивними летючими з просуванням фронту ВВ-флюїдів на висхідних колонах дефлюїдизації від апікальних частин мантийних діапірів. Якщо процес тепломасоперенесення не забезпечений активізованими зонами глибинних розломів, то він розтягнутий у часі і протікає геологічно повільно з формуванням у верхній мантиї - низах земної кори камер дефлюїдизації. Набувши необхідної потенціальної енергії, реакційні камери згодом служать вогнищами плюм-діапіризма, сприяючи формуванню склепінних піднять у континентальній корі та наступному рифтогенезу і акумуляції флюїдогенних корисних копалин в надрах осадових басейнів.

### **3.2.3. Мантийні плюми і гарячі точки**

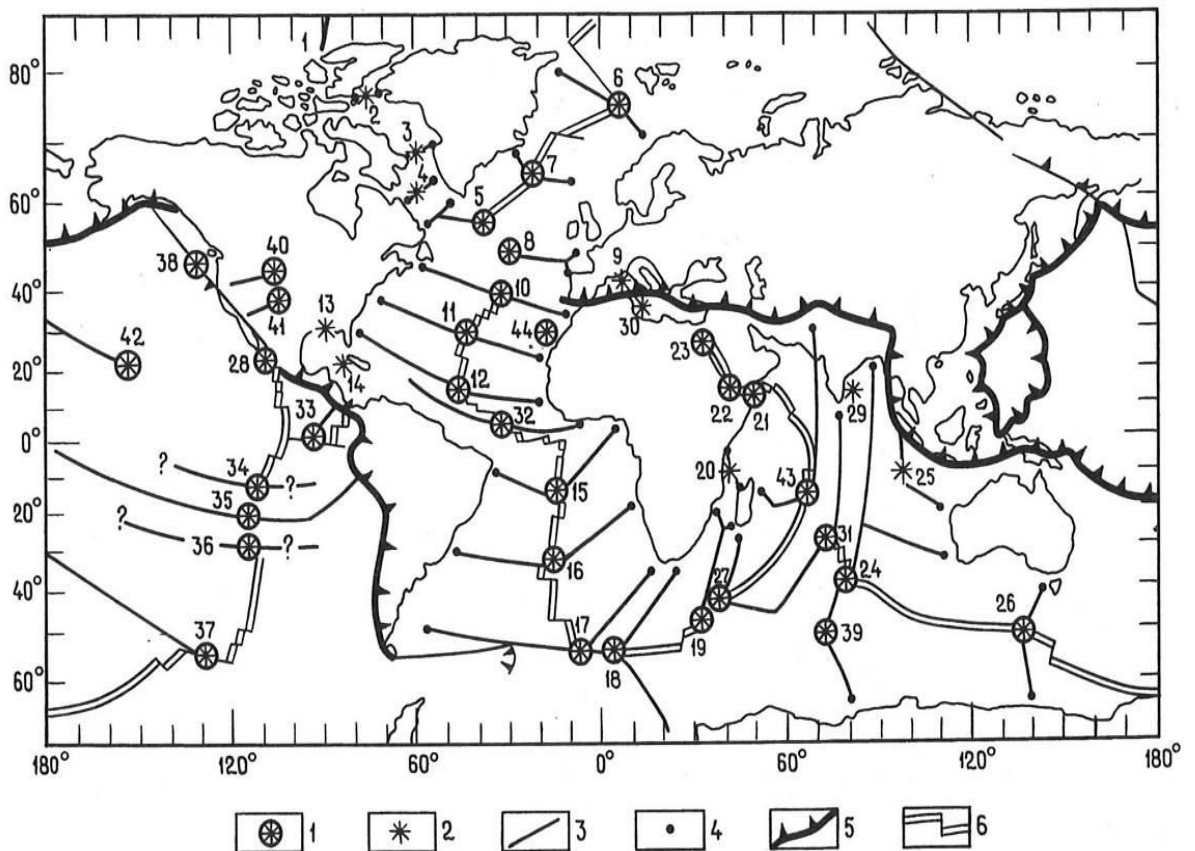
*Мантийні плюми* являють собою вузькі колони розігрітої речовини, що піднімаються з глибоких шарів мантиї (Wilson, 1963). Плюми зароджуються на глибині не менше 700 км (DePaolo, 1981). За деякими оцінками діаметр їх становить від 100 до 240 км, а швидкість підйому 2 м/рік (Morgan, 1972). Плюми породжують купола діаметром до 1000 км, центральні ділянки яких підносяться на 1-2 км над навколишньою місцевістю (Kinsman, 1975).

*Гарячі точки* це ділянки земної поверхні з надзвичайно високою вулканічною активністю на даний час або в минулому. Іноді під *гарячою точкою* розуміють ділянку всередині мантиї, температура якої вище середньої температури на цій глибині. В рамках даного визначення гарячої точки її існування встановлюється безпосередньо зі спостережень за вулканічною активністю області, що розглядається, тоді як висновок про існування плюмів – результат геологічної інтерпретації, тому що пряме їх спостереження недоступно.

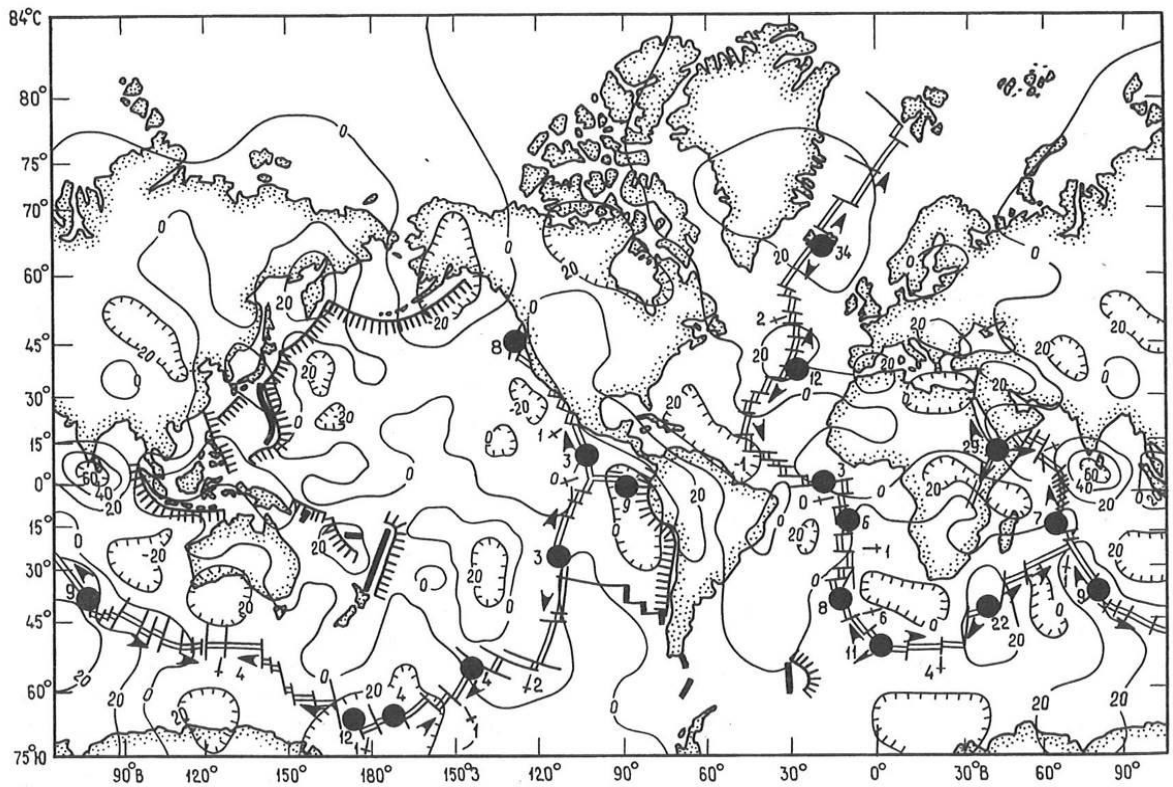
Плюми зустрічаються як всередині плит, так і на дивергентних кордонах. Прикладом внутріплитного розташування в океані є плюм під островом Гаваї.

Плюм цього типу породжує внутріплитну гарячу точку, або гарячу точку Гавайського типу. Прикладом плюму на дивергентному кордоні плит, є плюм під Ісландією. Плюми такого типу породжують серединно-океанічні гарячі точки або гарячі точки Ісландського типу (рис. 3, 4).

**Чому здійснюються плюми.** Плюми здійснюються з глибоких шарів мантії, так як їх речовина легше навколишніх порід, а в'язкість цих порід досить мала, щоб в мантії став можливим режим течії. Вони ведуть себе як пластичне тверде тіло, частково розплавлене, і здійснюються подібно соляним діапірам (O'Brien, 1968). В'язкість речовини мантії в плюмах  $10^{19}$  пуаз (Vogt, 1973). З підйомом речовина плюму піддається внутрішнім деформаціям пластичної течії, що породжує типову діапірову структуру на кшталт ксенолітів мантії в вулканічних породах, що вилились в гарячих точках (Basu, 1975). Зменшення тиску в речовині плюму призводить до зростання вмісту розплаву, що сприяє підйому плюму. Це причина підвищеної вулканічної активності гарячих точок, в основі якої лежить процес диференціації речовини плюму: легша розплавлена фаза відділяється від твердого залишку.



**Рис. 3.** Карта сучасного розташування плюмів першого порядку. Відомо 9 пасивних плюмів на пасивних хребтах спрединга, 29 активних плюмів на серединно-океанічних хребтах і 5 плюмів всередині плит. 1 – активний плюм; 2 – пасивний плюм; 3 – слід плюму; 4 – місце зародження плюму; 5 – конвергентна межа плити; 6 – серединно-океанічний хребет.

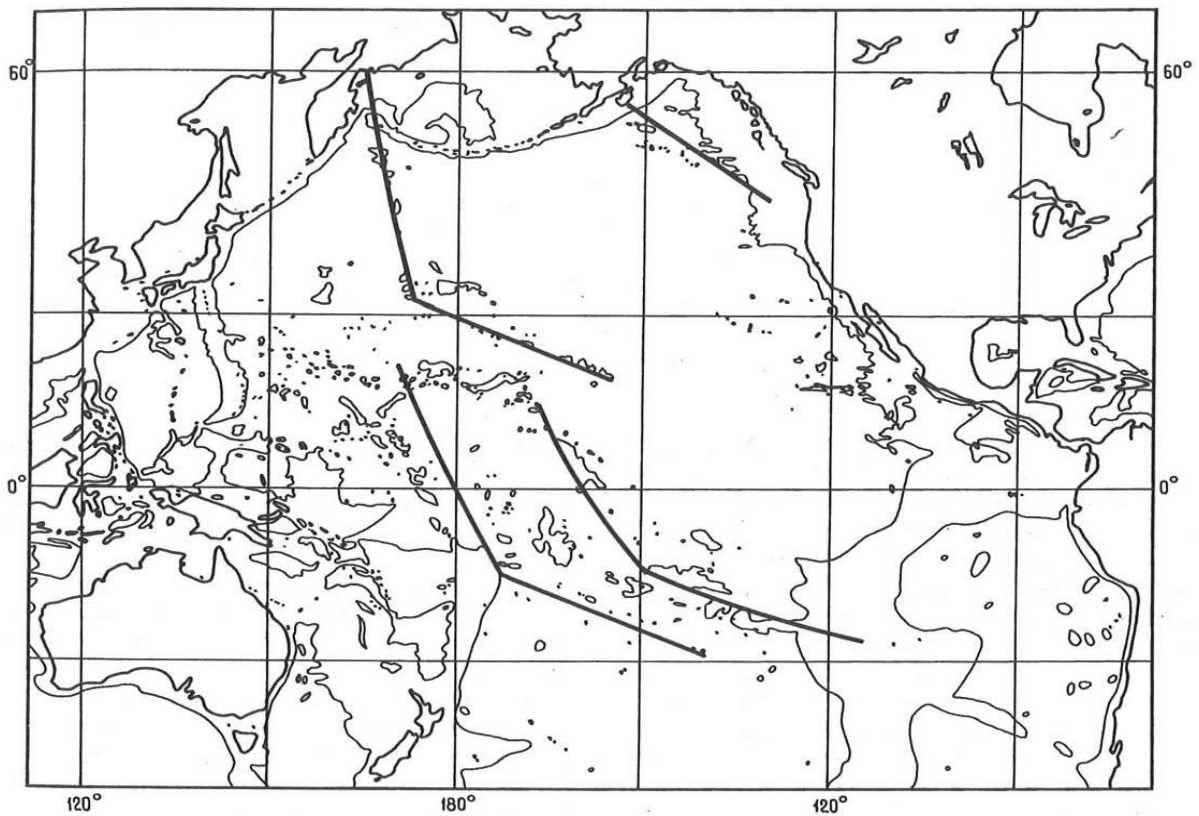


**Рис. 4.** Карта гравітаційних аномалій у вільному повітрі (зйомки із супутників). Показано положення серединно-океанічних хребтів і розташованих на них гарячих точок (плюмів). Поряд з кожною гарячою точкою приведена величина її перевищення в сотнях метрів над рівнем, що відповідає глибині океану 2,9 км. Хрестами відзначені точки максимального зниження гребня хребта між двома гарячими точками.

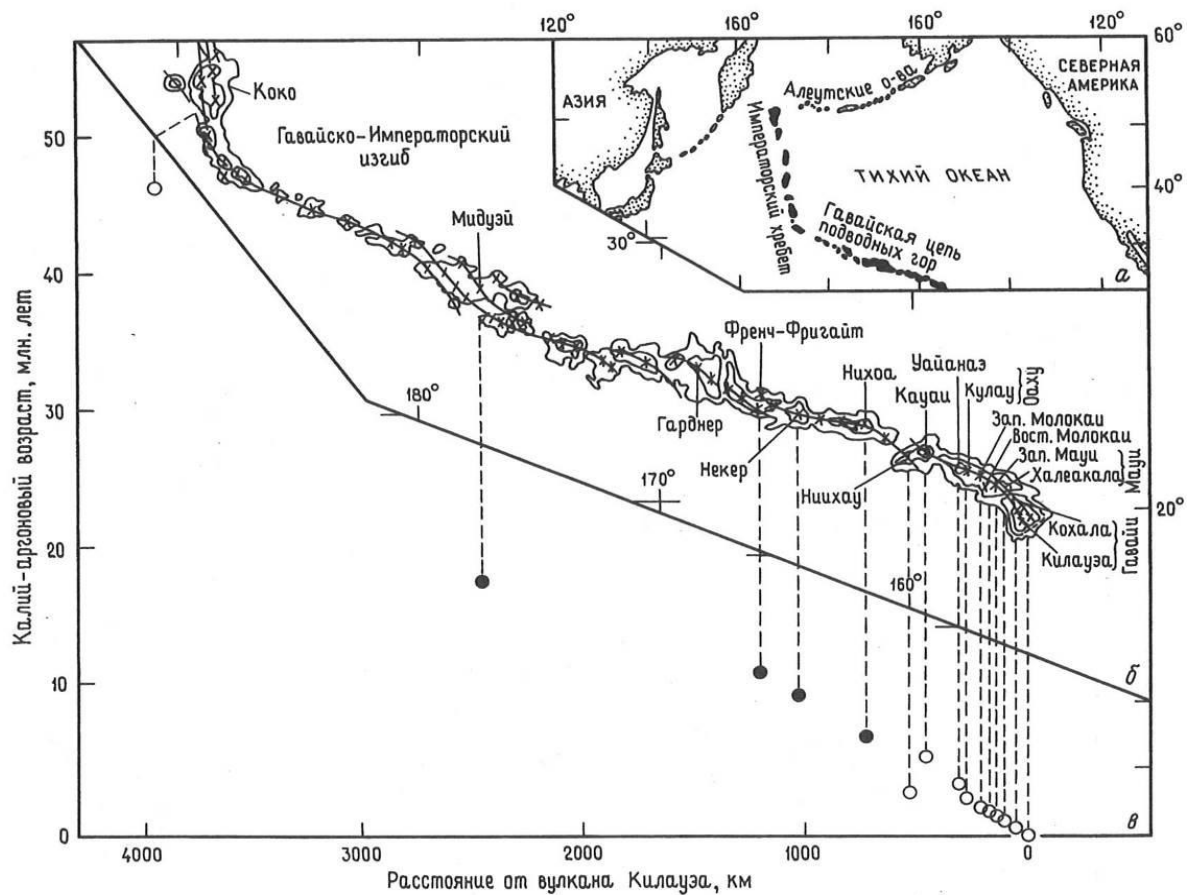
**Асейсмічні хребти.** Асейсмічний хребет є слідом від стабільного мантіяного плюму на тілі океанічної плити, що пересувається над ним. Хребет представляє собою прямолінійний ланцюг вулканічних островів, гайотів та/або підводних піднять. Лінеаментні хребти відрізняються від островних вулканічних дуг, які мають дугоподібну форму. Фактично хребти розташовуються уздовж малих кіл з центром у полюсі спредингу, але радіуси їх настільки великі, що вони мають вигляд прямих ліній (рис. 5).

Єдиний асейсмічний хребет утворився при переміщенні Тихоокеанської плити над плюмом, розташованим всередині плити під островом Гаваї. Асейсмічний хребет, що поступово відходить від нього, складається з протяжного Гавайсько-Імператорського ланцюга підводних гір, які мають різний вік формування (рис. 6).

Мантіяний плюм, розташований під серединно-океанічних хребтом, породжує два або три асейсмічні хребта, що відходять від нього (рис. 7).



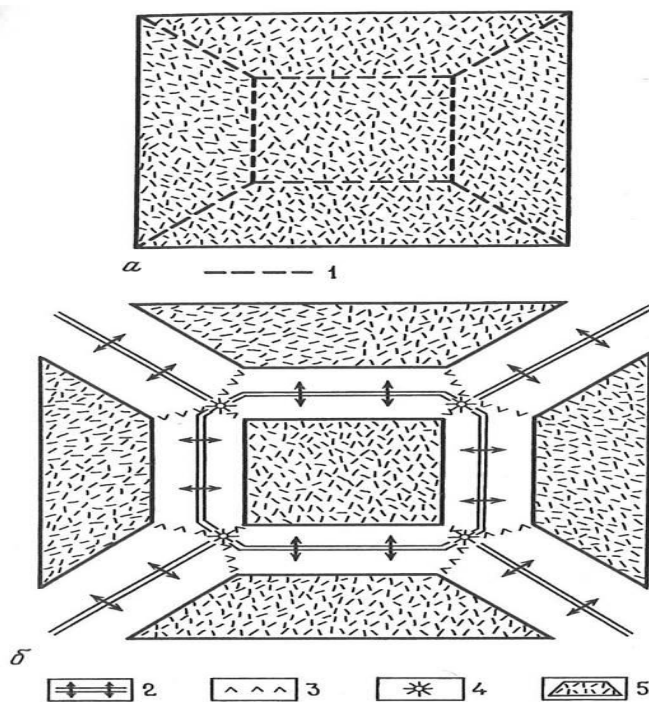
**Рис. 5.** Траекторії гарячих точок, побудовані односпрямованими рухами з компонентою обертання Тихоокеанської плити навколо фіксованих положень чотирьох гарячих точок.



**Рис. 6.** Гавайсько-Імператорський ланцюг підводних вулканічних гір. Кружками вказані результати радіометричних визначень віку вулканічних порід в вулканічних центрах.

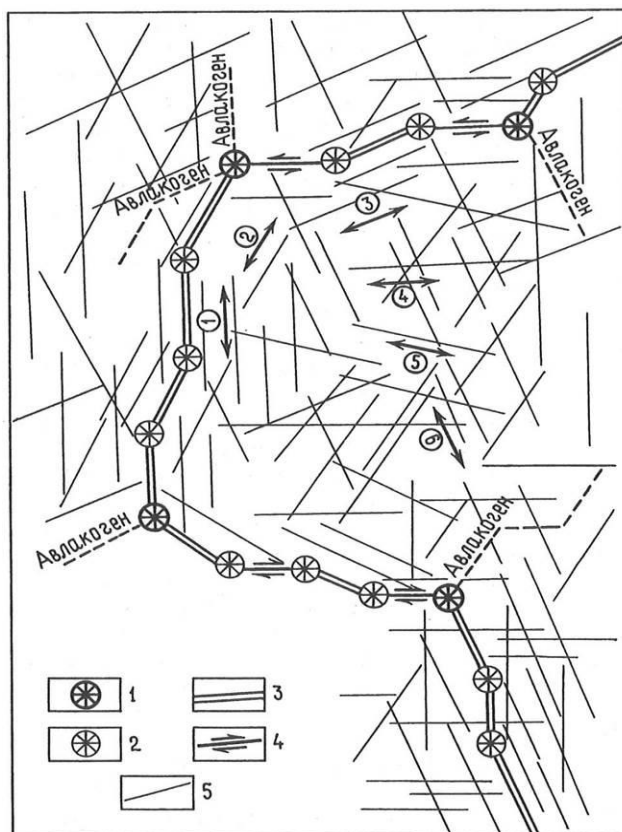
Від острова Ісландія відходять один широкий асейсмічний хребет північно-західного простягання у бік Гренландії і другий, вузький хребет південно-західного простягання у бік Шетландських островів (на північний схід від Шотландії). Плюм на зчленуванні трьох серединно-океанічних хребтів, може породжувати три асейсмічні хребти, що відходять від нього (рис. 7, 8).

**Плюми першого і другого порядку.** Простягання континентальних околиць за ізобатою 2000 м в Атлантичному, Індійському і Північному Льодовитому океанах, Мексиканській затоці і Карибському морі свідчить, що зміни кутів їх напрямків розділяються на сильні ( $61^\circ$ ) і слабкі ( $29^\circ$ ). З сильними пов'язані плюми першого порядку, відстані між якими від 450 до 2200 км, в середньому 1700 км (рис. 9). Зазвичай тут розташовуються добре розвинені асейсмічні хребти, які з'єднують сучасне положення плюму на серединно-океанічному хребті з попереднім місцем його стояння на континентальній околиці, де він зароджувався. Більшість плумів першого порядку на початковій стадії розвитку були пов'язані з рифтами, структури яких перетинають континентальну околицю в місці зародження плюму (рис. 9).



**Рис. 7.** Схема поділу єдиного суперконтинента на п'ять самостійних континентів.

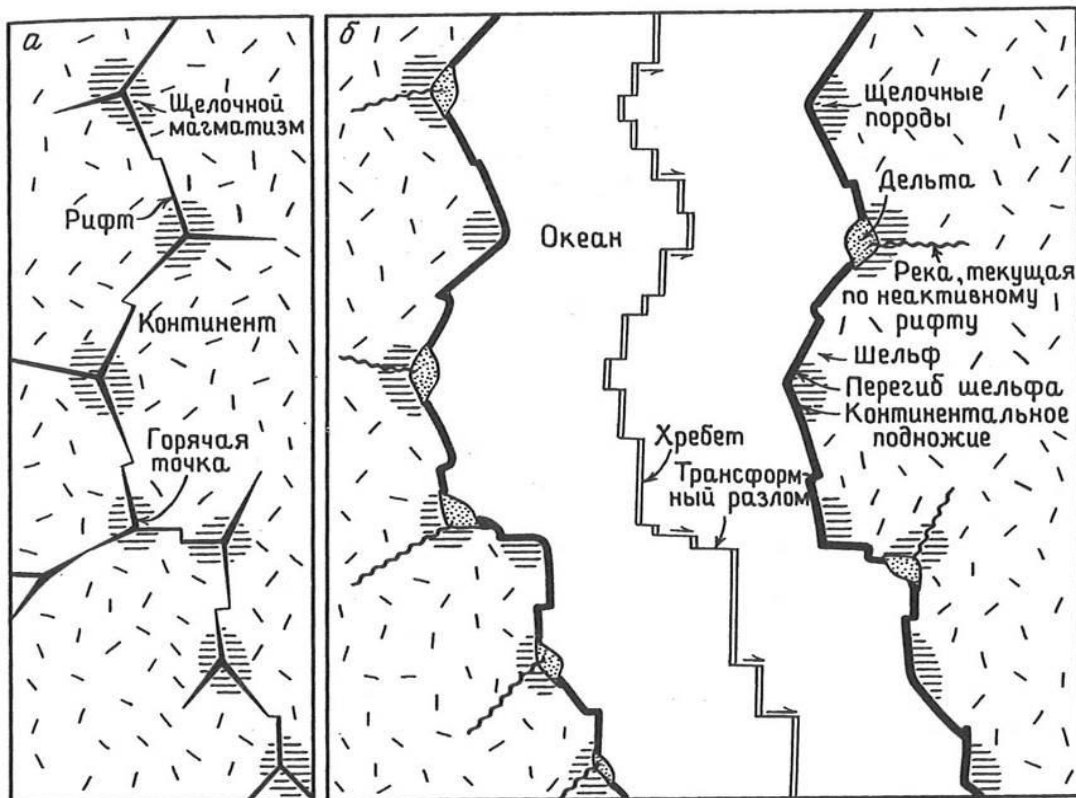
Потрійні зчленування трьох серединно-океанічних хребтів є необхідною умовою поділу континента більш ніж на два фрагменти. Якщо в цих потрійних зчленуваннях розташовуються плюми, кожен плюм породжуватиме три асейсмічних хребта. Хребти є слідами плюму, що радіально розходяться від нього, а плюми віддаляються по радіальних напрямках від новоствореного центрального континенту. 1 – контури майбутнього поділу континентів; 2 – серединно-океанічний хребет; 3 – слід плюму; 4 – плюм; 5 – континент.



**Рис. 8.** Схема утворення плюмів першого і другого порядку, пов'язаних зі серединно-океанічними хребтами, авлакогенами і трансформними розломами. 1-2 – плюми першого і другого порядку; 3 – спредінговий хребет; 4 – трансформний розлом; 5 – древній розлом.

Від початку поділу єдиного континенти надвоє, серединно-океанічні хребти між ними розташовуються паралельно до континентальних околиць, тому хребти, так само, як околиці, перетинаються між собою під кутами  $61^{\circ}$  і  $29^{\circ}$ . Однак, в процесі розсування континентів окремі сегменти хребтів змінюють свою орієнтацію і зміщуються за серією трансформних розломів, ортогональних до загального простягання хребтів (рис. 9).

**Альтернативні гіпотези.** Існування гарячих точок пояснюють також дією термічних напружень, що виникають при охолодженні літосфери, або мембранних напружень, пов'язаних зі змінами радіусу кривизни плит (Basu, 1975), низхідною конвекцією через опускання високоплотного слєба мантиї, що залишається після вулканічної діяльності (Show, Jackson, 1973), наявністю великих тектонічно ослаблених зон розривних порушень або активізованих раніше існуючих розломів, поблизу континентальних околиць (Sykes, 1978).



**Рис. 9.** Схема стадій розколу континентів згідно циклу Вілсона.

*а* – початок розколювання континентальної кори уздовж рифтів, що потрійно зчленовуються над гарячими точками; *б* – утворення серединно-океанічного хребта на розвиненій стадії розкриття океану.

Вважається, що походження більшості гарячих точок на земній поверхні прямо або опосередковано ініційоване підйомом мантийних плюмів.

**Походження плюмів першого порядку.** Серед моделей, що пояснюють походження мантийних плюмів, відзначимо механізми: надлишковий розігрів за рахунок концентрації теплогенеруючих елементів у мантиї, удари великих астероїдів і метеоритів, повторну активізацію висхідного потоку речовини мантиї на місці раніше існуючого плюму.

*Концентрація теплогенеруючих елементів.* Плюми зароджуються в так званих хімічних кишнях на кордоні ядро-мантия (Runcorn, 1974) і рухаються вгору, проплавляючи літосферу. Це може мати місце, якщо в мантиї існує точкове джерело тепла, що утворюється за рахунок концентрації теплогенеруючих елементів (уран, торій, калій). Однак, важко уявити механізм такої концентрації, тому що мантия збіднена цими елементами. Наприклад, швидкість генерації тепла в дуніті, що має приблизно той же склад, що і мантия Землі, де малий вміст радіоактивних елементів, в 400 разів менша, ніж в граніті, тому у них бракує їх концентрацій, необхідних для зародження плюмів.



*Удари метеоритів.* Завдяки існуванню нададіабатичного градієнта сильно розігріта речовина нижніх оболонок Землі має тенденцію до розширення, якому, скрізь на поверхні Землі, за винятком серединно-океанічних хребтів перешкоджає потужна літосфера. Тому, Земля знаходиться в нестабільному стані і, для започаткування мантийної конвекції за певних обставин вистачає дії якогось зовнішнього «спускового» механізму. Роль такого механізму може зіграти падіння метеорита або невеликого астероїда (Seyfert, 1979). Неодноразові зіткнення Землі з великими метеоритами в археї могли породжувати у мантиї висхідні діапіри, при плавленні або частковому плавленні яких утворювалися коматіїти або коматіїтові базальти. Такий діапір по суті не відрізнявся від сучасних плюмів, якщо мав тривалість існування у мільйони років (Green, 1977).

Утворення плюмів, могло служити причиною розколу континентів, приймаючи до уваги наявність часових зв'язків між збільшенням числа зіткнень планети з великими метеоритами і початковими фазами поділів континентів (Morgan, 1972) (табл. 1). Наприклад, близько 205 млн років тому відбулося п'ять падінь великих метеоритів, свідченням чого є древній кратер Манікуаган діаметром 65 км. За радіометричних датувань імпактних розплавів цей кратер утворився в пізньому тріасі 202-210 млн років тому. Саме до цих часів відносяться початок рифтогенезу на Північноамериканському континенті і утворення осадових басейнів в ряді авлакогенів (Ньюарк, Конектикут-Валі, Геттисберг). Вважається, що вони утворилися в той час, коли постав загально плитний режим розтягнення кори і, через розколювання суперматерика Гондвани, Північна Америка почала відділятися від неї (Seyfert, 1979).

Відокремлення Північної Америки і Євразії від Гондвани, можливо, було ініційовано падінням великого метеориту поблизу Багамських островів в Північній Америці і Гвінеї в Африці. Цей удар викликав утворення плюму в місці падіння і ініціював виникнення решти докембрійських плюмів, пов'язаних з раннім етапом циклу Вілсона. Утворення цих плюмів послужило причиною початку відділення Північної Америки і Євразії від Гондвани.

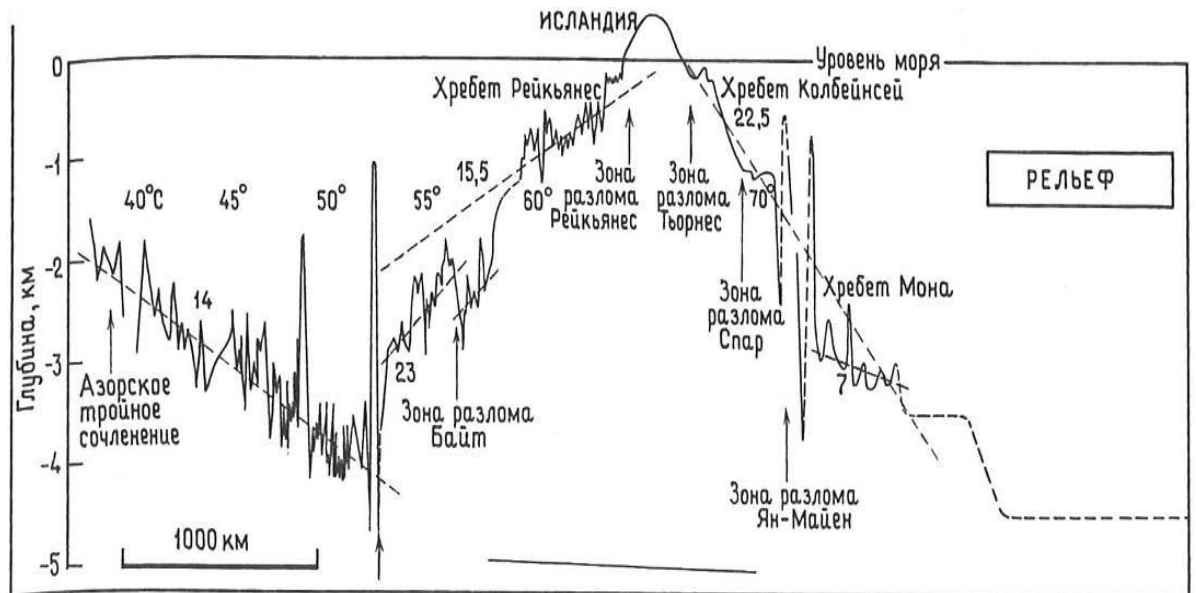
Відділення Гренландії від Євразії почалося близько 65 млн років тому і могло бути викликане падінням великого метеорита в районі між сучасною континентальною околицею Європи і Гренландеєю. Виходячи з часу падіння, це той самий метеорит, який обумовив відкладення збагаченого іридієм шару осадів на межі крейди і палеогену. Можливо, що плюм під Ісландією теж є результатом цієї космічної події.

**Табл.1.** Геохронологія розпаду Гондвани на окремі континенти

Геологічний час	Початок відділення	Початок обертання
Пізній тріас-карнійський вік (близько 202 млн років тому)	Північної Америки і Євразії від Гондвани	
Пізній тріас-кімеридж (близько 140 млн років тому)	Африки від Південної Америки Антарктиди і Австралії від Індії Мадагаскару від Африки Гренландії від Північної Америки	Іспанії і Португалії від Європи Аляски від Північної Канади
	Індії від Африки Австралії та Антарктиди від Африки	
Границя крейди і палеоцену (близько 65 млн років тому)	Гренландії від Європи	
Кінець палеоцену (близько 54 млн років тому)	Австралії від Антарктиди	
Середній міоцен (близько 15 млн років тому)	Аравії від Африки півострова Каліфорнія від Мексики Сардинії і Корсики від Європи	

До механізмів, які впливають на утворення плюмів в результаті зіткнення з метеоритом, відносяться: *пружна віддача*, як миттєва компенсація, що відбувається безпосередньо після падіння, *ізостатична компенсація*, що реалізується протягом декількох десятків тисяч років після падіння, *фазові перетворення*, пов'язані зі скиданням тиску після утворення кратера, і викликане ударом розтріскування гірських порід. У земних кратерах діаметром 10-100 км зазвичай утворюється центральна гірка, викликана пружною віддачою речовини кори і мантії після падіння великого метеорита. Ця віддача може ініціювати висхідний рух активізованої речовини плюму. Утворення великого кратера призводить до локального зниження тиску в мантії, що може стати причиною переходу якихось її компонентів зі щільної у розріджену фазу і тим самим викликати градієнт тисків та висхідний струм речовини мантії у формі плюму.

Активізація плюмів, що існували раніше. Мантийний плюм може виникнути на місці плюму, що існував раніше. Потрійні перетини авлакогенів, що існували 1,15 млрд років тому в центральній частині Північної Америки, свідчать, що в північній Луїзіані в той час розташовувався плюм (рис. 14).



**Рис. 10.** Топографічний профіль уздовж гребня Серединно-Атлантичного хребта в районі Ісландії. Топографічна аномалія з центром на острові Ісландія простягається більш ніж на половину відстані до Азорського потрійного зчленування.

Він утворився, ймовірно, в початкову фазу поділу Євразії і Гондвани. Згідно реконструкції континентів - складових Пангеї наприкінці палеозою-ранньому мезозої, до її поділу півострів Юкатан (Мексика) примикав до Луїзіані. Коли в ранньому мезозої Гондвана почала відокремлюватися від Північної Америки, більша частина Мексики віддалялася від Північної Америки з обертанням навколо осі, розташованої на півдні Мексики. У простяганні континентальної окраїни, що утворилася в результаті цього обертання, є сильний вигин в північній частині Луїзіані, де ймовірно розташовувався плюм. Плюм, що датується віком 1,15 млрд років, знаходиться у тому ж місці, що і плюм ранньомезозойського віку, тому, можливо, мезозойський плюм утворився за рахунок активізації мантиї на місці раніше існуючого плюму.

**Походження плюмів другого порядку.** На початковій фазі поділу континентів, коли закладаються океанічні хребти, між плюмами встановлюється зв'язок. Становлення серединно-океанічних хребтів контролюється існуючими регіональними системами тріщин (рис. 8, 9). Серединно-океанічні хребти могли розвиватися за двома або більше системам тріщин, реалізуючи при цьому оптимальний, найбільш короткий

шлях між двома плюмами. Дослідження планетарних систем тріщин (регіональної решітки) у внутріконтинентальних областях вказують, що регіональні системи тріщин можуть реалізовувати до шести-восьми азимутальних напрямків. Орієнтування напрямків розрізняються, як правило, в середньому на кут близько  $30^\circ$ , що близько до середньої величини зміни напрямку континентальної окраїни в проміжках між плюмами першого порядку. Вторинні плюми зароджуються у місцях змін в орієнтуванні тріщин, що контролюють розвиток серединно-океанічного хребта між плюмами.

### ***Діагностичні ознаки плюмів.***

1. Плюми зазвичай розташовуються під районами сучасного вулканізму або поблизу них. Однак, вулканічна активність пов'язана також з зонами субдукції і авлакогенами, крім того, має місце на асейсмічному хребті за тисячі кілометрів від плюму.

2. Вулканічні породи, утворені безпосередньо над плюмом, представлені зазвичай толеїтовими базальтами. Наприклад, толеїтам над плюмом в Ісландії властивий надзвичайно низький вміст  $\text{SiO}_2$  (47%) і досить високий  $\text{K}_2\text{O}$  (0,4%) у порівнянні з іншими дивергентними кордонами плит.

3. Плюми розташовуються на закінченні одного, двох або трьох асейсмічних хребтів (слідів плюму). Наприклад, плюм під островом Гаваї розташований на закінченні Гавайсько-Імператорського ланцюга підводних гір, а плюм під гребенем Східно-Тихоокеанського підняття на закінченні на ланцюга підводних гір острів Пасхи - Сала-і-Гомес-Наска.

4. Плюми під серединно-океанічними хребтами дивергентних кордонах плит зазвичай приурочені до місць, де хребет суттєво змінює напрямок свого простягання. Кут між двома сегментами хребта, в перетині над плюмом, складає  $115-155^\circ$  [15] (рис. 8, 9). Пов'язане це з тим, що розломи на потрійних перетинах плюмів, які направляли розвиток серединно-океанічних хребтів, зазвичай відходять від них під кутами  $115$  і  $155^\circ$ .

5. Плюми серединно-океанічних хребтів (дивергентних кордонів плит) розташовуються посередині між дзеркальними ділянками протилежних континентальних околиць, вигини яких повторюють одне одного. До розділення Гондвани ділянка континентальної окраїни з вигнутим вигином в Африці (в гирлі річки Нігер) примикала до сучасної протилежної ділянки з опуклим вигином на північно-східній околиці Південної Америки. Протягом рифтогенезу на цих континентальних ділянках зароджувався плюм, який нині розташований під гребнем Серединно-Атлантичного хребта.

6. Авлакогени перетинаються з плюмами під час їх зародження, тому плюм може перебувати під хребтом поруч з перетином авлакогену і континентальної окраїни.

7. На ділянках, під якими знаходяться плюми, серединно-океанічні хребти зазвичай розширюються і здіймаються. З плюмом під Ісландією пов'язаний дуже широкий сегмент Серединно-Атлантичного хребта, який утворює підводну гору, що виступає в Ісландії над рівнем моря (рис. 10).

8. Вік вулканів асейсмічних хребтів закономірно зростає з віддаленням від плюму, що добре простежується на вулканах Гавайсько-Імператорського ланцюга підводних гір (рис.5, 6).

9. Відношення  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  в вулканічних породах серединно-океанічного хребта, вивержених над плюмом, вище за будь-яку іншу ділянку хребта. Нприклад, в вулканічних породах в Ісландії воно в середньому дорівнює 0,7031, а на хребті Рейкьянес, на південь від  $61^\circ$  пн. ш., – 0,7026.

10. Над плюмами зазвичай утворюються великі гравітаційні максимуми.

11. Океанічна кора над плюмами товща за інші області. Наприклад, товщина земної кори в центральній Ісландії дорівнює приблизно 14 км на тлі середньої для океанічної кори (без осаdів) близько 6 км.

12. Геотермічні градієнти над плюмами вищі за інші області, що є причиною підвищеної вулканічної активності над плюмом. Наприклад, в Ісландії температура у підвалині кори на глибині 14 км дорівнює приблизно  $1000^\circ\text{C}$ , середній геотермічний градієнт тут становить  $71^\circ\text{C}/\text{км}$ , тобто більш ніж удвічі перевищує нормальну величину градієнту  $30^\circ\text{C}/\text{км}$ .

13. Асейсмічні хребти (сліди плюmів) всередині океанічної плити розташовуються по дугам малих кіл, проведених з полюса спредингу. Довжина цих дуг, вимірювана величиною кутів, що стягуються ними, постійна для сегментів хребта, що утворилися за даний період часу (рис. 6).

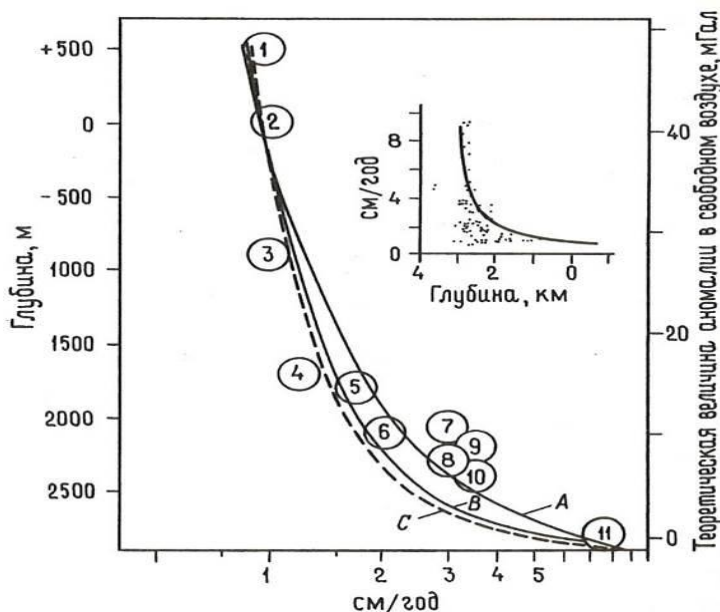
14. Плюми зазвичай розташовуються вдалині від мінімумів геоїда.

15. Плюми зазвичай розташовуються поблизу районів, де осі серединно-океанічних хребтів зміщуються великими трансформними розломами. Наприклад, Серединно-Атлантичний хребет зміщений великими трансформними розломами як на північ, так і на південь від плюму в Ісландії.

**Плюми океанічних областей.** Майже під усіма гарячими точками різних типів (наприклад, на Гавайських островах і в Ісландії) стабільно стоять плюми, виняток становлять деякі гарячі точки океанічних областей. Є кілька островів з активними вулканами (гарячих точок), розташованих поблизу дiвергентних кордонів плит (серединно-океанічних хребтів), але не на

самому кордоні. Плюми, відповідальні за появу цих островів (наприклад, острови Вознесіння та Трістан-да-Кунья), приурочені до сусіднього дивергентного кордону плит і, можливо, знаходяться під гребенем серединно-океанічного хребта, а не під гарячою точкою.

Вулканічна активність може виявлятися через мільйони або навіть десятки мільйонів років після того, як дана ділянка плити змістилася в бік від плюму. Для утворення субаквального вулкана на океанічному дні і перетворення в субаеральний вулкан на поверхні океану потрібно декілька мільйонів років. Це притаманне ділянкам з високими швидкостями спрединга морського дна. Зі збільшенням швидкості спрединга істотно знижується максимальне перевищення хребта над плюмом (рис. 11). З цієї причини наявність вулканічної активності в районі гарячої точки не обов'язково означає існування під нею плюму. Більшість островів в океанічних областях, як поблизу, так і далеко від серединно-океанічних хребтів, не мають плюмів, що залягають під ними. Але вірно і те, що зароджувалися вони над плюмами, тільки ці плюми знаходяться під гребенями серединно-океанічних хребтів, тобто на дивергентних межах плит.



**Рис. 11.** Залежність швидкості спредингу від глибини залягання гарячих точок: 1-Ісландія; 2-Афар; 3-Крозе; 4-Азорські острови; 5-Буве; 6-Трістан-да-Кунья, 7- Хуан-де-Фука; 8- Галапагос; 9-острів Амстердам; 10-Белені; 11-острів Пасхи.

Вулканічні лави острова Гаваї і вулканічних районів Ісландії мають толеїтовий склад, властивий районам, розташованим над плюмами. По мірі віддалення вулкана від плюму, склад вивержених порід стає більш лужним.

Наприклад, вулканічні породи Мауна-Лоа і Кілауеа представлені майже виключно толеїтовими базальтами, а вулканічні породи, що вивержені вулканом Мауна-Кеа на острові Гаваї (на північний захід від вулканів Кілауеа і Мауна-Лоа), лужними базальтами. Вулканічні породи серії Гонолулу на острові Оаху і серії Коло на острові Кауаї ще більш лужні за лави Мауна-Кеа.

Крім того що плюми не завжди розташовуються під районом гарячої точки в океанічних областях, над багатьма плюмами немає вулканічних островів, проте завжди існує хоча б одна підводна гора. Ланцюги підводних гір можуть бути єдиною ознакою існування плюму, у цьому випадку плюм знаходиться під закінченням гірського ланцюга.

### ***Плюми континентальних областей.***

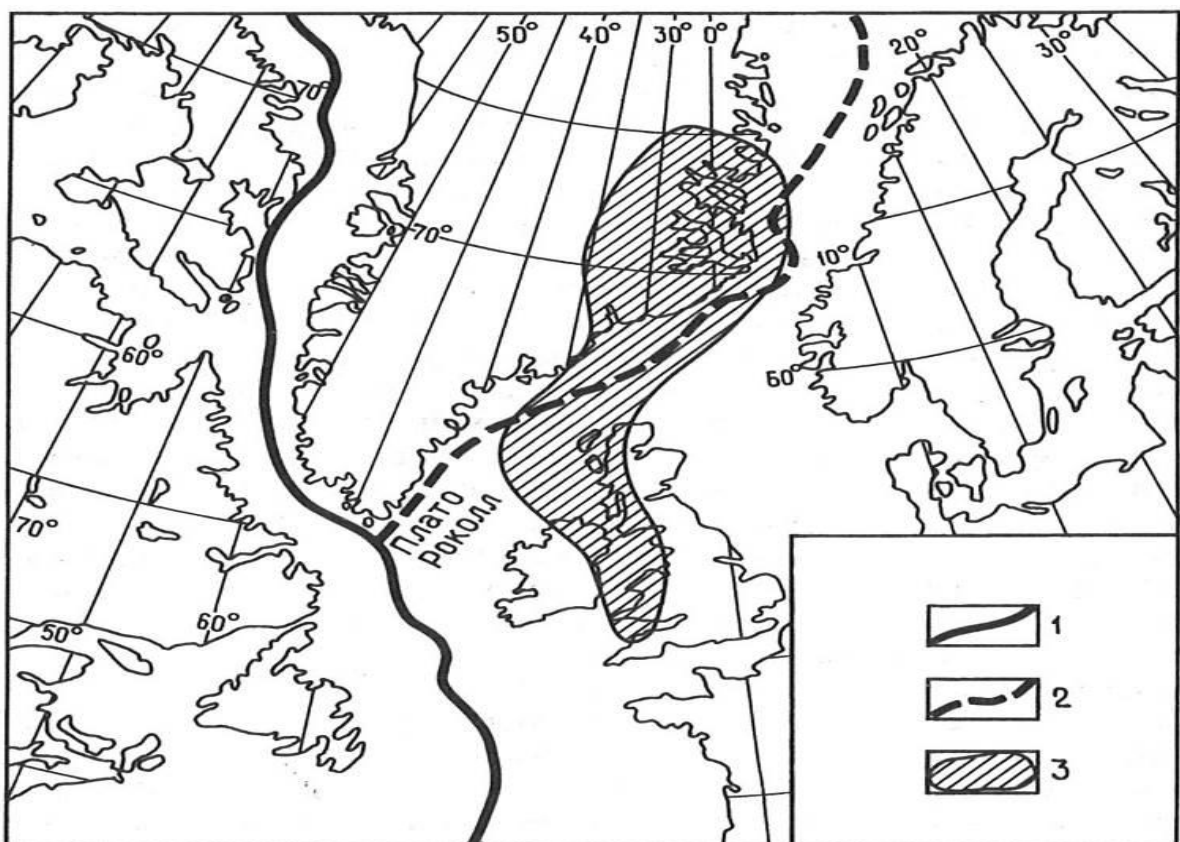
У континентальних областях плюми поширені менше за океанічні. Кілька сучасних гарячих точок є в Африці. Враховуючи дані про відсутність їх міграції в минулому зроблений висновок, що Африка залишалася нерухомою щодо плюмів. Вулканізм гарячих точок в Африці є здебільше лужним, ніж толеїтовим за винятком району Афар у південному куті Червоного моря, що розташований над потужною океанічною корою над плюмом.

У багатьох континентальних областях зустрічаються прямолінійні ланцюги вулканічних центрів, які були утворені плюмами в плитах, що пересувалися над ними, тобто є слідами плюмів. Наприклад, вулканічні ланцюги на північному і південному заході США, на сході Північної Америки, в Центральній Європі, на сході Австралії. Навіть якщо не всі гарячі точки в континентальних областях пов'язані з плюмами, плюмів тут набагато менше, ніж в океанічних областях. Морган (1972) пояснює це тим, що мантіїні плюми під континентами ініціювали їх розколювання і згодом опинилися під серединно-океанічними хребтами, тому більшість плюмів розташовані на дивергентних кордонах плит, а не всередині континентальних плит.

### ***Географічне розташування плюмів.***

Оцінки загального числа гарячих точок над плюмами на Землі наступні: 9 пасивних плюмів на пасивних хребтах спрединга, 29 активних плюмів на серединно-океанічних хребтах і 5 плюмів всередині плит (рис. 3). Морган і Фогт вважають, що більшість плюмів зосереджена на серединно-океанічних хребтах, тому що плюми, пов'язані з розколом континентів, не змінюють свого положення під гребенями хребтів при розсуванні континентів. Багато плюмів під серединно-океанічними хребтами або поруч з ними, зароджувалися в континентальних умовах ще до утворення серединного хребта. До них належать плюми: 1- під Ісландією, що ініціював вулканізм в

Британо-Арктичній вулканічній провінції, включно ранньокайнозойський вулканізм в Ірландії, Шотландії, на Гебридських островах і сході Гренландії (рис. 12); 2- поблизу островів Тристан-да-Кунья, якому зобов'язані своїм походженням мезозойські платобазальти басейну ріки Парана в Південній Америці; 3- плум, який породив кільцевий дайковий комплекс на південному заході Африки; 4- плум, що породив підводний гірський ланцюг Нью-Інгленд поблизу перетину Серединно-Атлантичного хребта трансформним розломом Атлантис, з яким пов'язаний вулканізм в басейнах Коннектикут-Валлі, Ньюарк і Геттисберг і інтрузивний магматизм, що утворив магматичну серію Уайт-Маунті.



**Рис. 12.** Ранньокайнозойський вулканізм в Британо-Арктичній вулканічній провінції: 1-2 – осі спрединга: 1- крейдяна; 2 – палеогенова; 3 – палеогенова магматична провінція.

Починаючи від часу розколу Пангеї (205 млн років тому), активними були 43 плюма, безпосередньо з розколом суперматерика пов'язані 32 плюма першого порядку (рис. 13). На даний час ці плюми знаходяться під активними або пасивними серединно-океанічними хребтами (рис. 3,4). З 32 плюмів, пов'язаних з розколом континентів, дев'ять розташовані під пасивними хребтами і тому неактивні. Шість активних плюмів є під серединно-океанічними хребтами Тихого океану і один активний плум під островом Гаваї всередині плити Пасифік. Чотири передбачуваних плюми є



поблизу островів Мадейра, під островами Кергелен, під Єллоустонським національним парком і під північною частиною Мексики. За винятком Мадейри, в цих районах з толеїтовим вулканізмом сучасного віку, починаються ланцюги вулканічних центрів послідовно зростаючого віку. Вік вулканічних порід Мадейри 0,7-3,05 млн. років, відношення Na/K в слаболужних лавах Мадейри типові для вулканічних порід, що утворилися поруч зі Серединно-Атлантичним хребтом, проте Мадейра віддалена від хребта на три чверті відстані між ними і Африканською континентальною околицею. Ланцюг вулканічних островів простягається на північний захід від Мадейри і активний плюм розташовується на південний захід від Мадейри. Африканська плита рухалася в північно-західному напрямку від цього плюму.

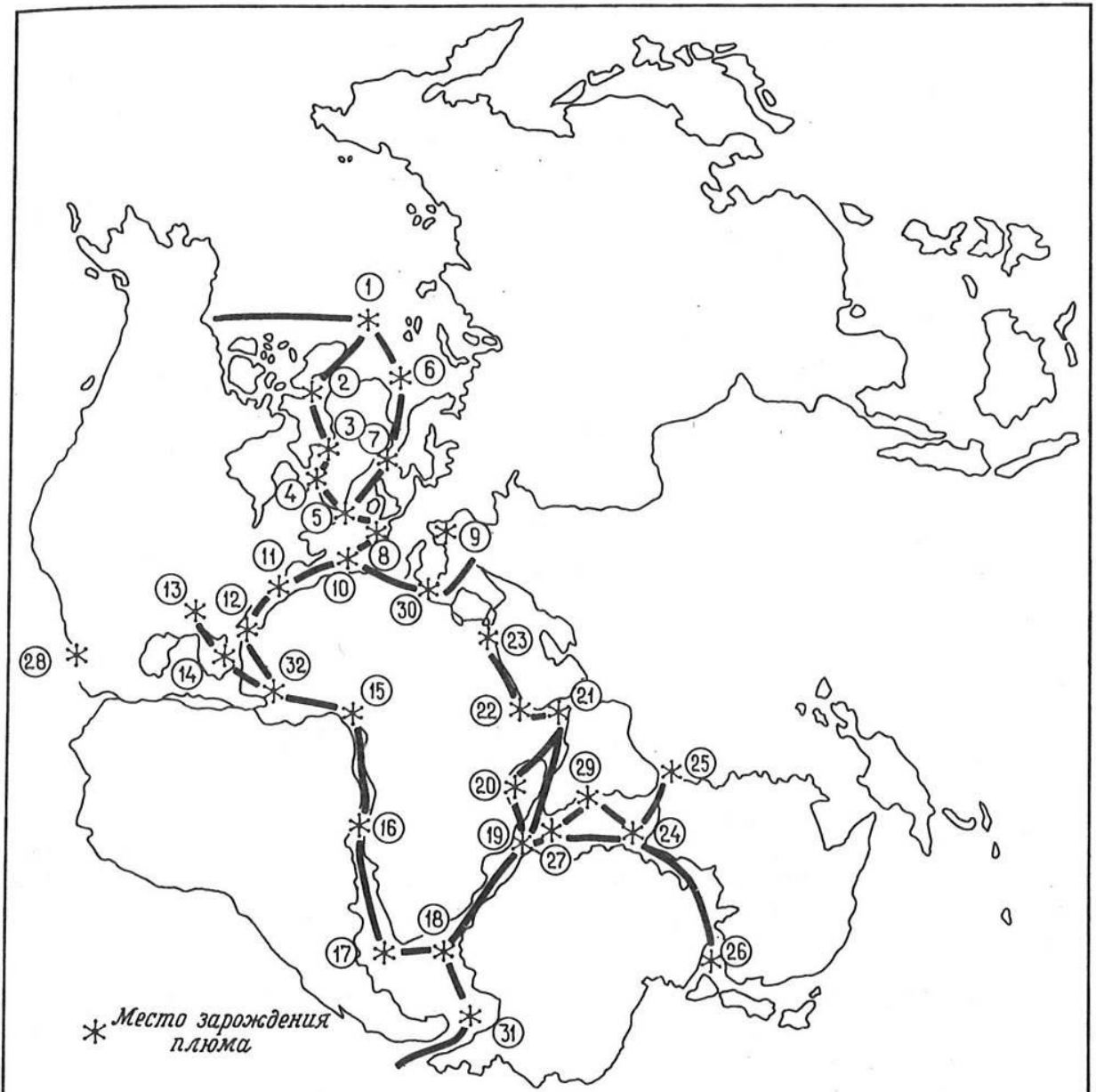


Рис. 13. Реконструкція Пангеї і розташування 32 плюмів 1 порядку, пов'язаних з її розколом

**Рухи серединно-океанічних хребтів і плюми.** Континенти, як правило, віддаляються від серединно-океанічних хребтів. Винятком є Африка: пересуваючись на схід відносно Серединно-Атлантичного хребта, вона рухається на захід щодо Аравійсько-Індійського хребта. Тому припускається, що хребти віддаляються від Африки, а не навпаки. Порівняння довжини хребтів, оточуючих Африку на даний час і на початку роколу континентів, вказує, що вона збільшувалася. Це вказує, що хребти віддалялися по радіальних напрямках від Африки, тому за такої кінематики переміщення хребтів плюми також повинні радіально віддалятися від Африки (рис. 3,4,13).

Басейни Атлантичного і Індійського океанів розширюються по мірі того, як континенти, що їх обрамляють, віддаляються одне від одного. Тому розміри Атлантичного океану збільшуються внаслідок розходження Північної Америки і Європи. Натомість акваторія Тихого океану повинна скорочуватися за рахунок просування континентів до його центру, тому Південна Америка зближується з Австралією. Розміри океанічних плит Пасифіка зменшуються через переміщення континентів, тому матеріал тихоокеанських плит, можливо, переносився до плит Атлантичного та Індійського океанів. Збільшення довжини серединно-океанічних хребтів і перенесення речовини літосферних плит від Пасифіка до Атлантики і Індійського океанів неможливо пояснити виходячи з припущення, що рушійним механізмом плит є мантийні конвективні осередки. Проте конвекція під серединно-океанічними хребтами остаточно може проявлятися у вигляді гарячих даек, які здійснюються.

Оскільки плюм являє собою колонну речовини мантиї, що піднімається подібно до гарячої дайки з глибини земних надр, механізми плюм-діапірізма і спредінга під серединно-океанічними хребтами однакові. Плюми рухаються разом з хребтами, не відділяючись від них, тому якщо хребет віддаляється від континенту, то і плюм повинен віддалятися від нього приблизно з такою самою швидкістю. Наприклад, Серединно-Атлантичний і Аравійсько-Індійський хребти на даний час віддаляються один від одного зі швидкістю близько 5 см/рік, тому, пов'язані з ними плюми теж повинні віддалятися один від одного з такою ж швидкістю.

Плюми, що виникли під гребенями серединно-океанічних хребтів, прагнуть зберегти це своє становище навіть при значній зміні конфігурації спредінга. Наведемо приклади:

1. Плюм на заході підводного підняття Кобб, зберіг своє становище під гребенем хребта Хуан-де-Фука навіть після того, як 5 млн років тому напрямок спредінга змінився з широтного на Пн-Зах  $300^{\circ}$  – Пд  $120^{\circ}$ .

2. Плом з заходу острова Пасхи залишився під гребенем Східно-Тихоокеанського підняття, після того як близько 42 млн років тому напрямок спрединга змінився з Пн-Зах  $305^{\circ}$  – ЮВ  $125^{\circ}$  на СЗ  $297^{\circ}$  – ЮВ  $117^{\circ}$ .

3. Плом під Ісландією не змінив свого розташування під Серединно-Атлантичним хребтом, незважаючи на те, що близько 15 млн років тому сталася стрибкоподібне переміщення хребта на північ від Ісландії.

Плюми під серединно-океанічними хребтами загалом віддаляються від континенту по радіальних напрямках, натомість це невірно для плюмів, розташованих усередині плити, яка оточена плюмами, що радіально переміщуються. Наприклад, плюми під серединно-океанічними хребтами, що оточують Африку, віддаляються від неї, але плум, який знаходиться на південний-захід від островів Мадейра, зміщується в північ-північно-західному напрямку щодо Африки, тобто паралельно до її континентальної околиці.

**Вік плюмів.** Найдавніші плюми, можливо, виникли одразу ж після утворення Землі. Для цього періоду були характерні численні падіння астероїдів і великих метеоритів, виходячи з кількості великих кратерів на місячних височинах і в деяких областях Марса, Меркурія і супутників Юпітера і Сатурна. Однак літопис подібних подій на Землі того часу не зберігся. Берк і Дьюї ідентифікували 35 породжених плюмами потрійних зчленувань, вік яких варіює від раннього протерозою (2,1 млрд років) до сучасного. Якщо вірна гіпотеза Моргана про те, що плюми розколюють континенти, то утворення плюмів можна пов'язати з періодами континентального рифтоутворення 3,5, 3,1, 2,75, 1,5, 1,15 та 0,675 млрд років тому.

**Синхронність активності плюмів.** Вчтановлено (Фогг), що в вулканічних виверженнях ряду гарячих точок над плюмами є певна синхронність. Йдеться про зв'язок між активністю різних плюмів під Гавайськими островами, Ісландією, Азорськими островами, трикутником Афар і островами Зеленого Мису, Мадейра та Галапагос. Максимуми їх активності припадають, крім теперішнього часу, на епізоди близько 15, 42, 65 млн. років тому, яким відповідають піки вулканічної активності на острівних дугах. Причому, піки магматичної активності над плюмами і в районах острівних дуг збігаються в часі з періодами збільшення числа падіння метеоритів, тому припускається, що посилення активності плюмів викликається падіннями великих метеоритів, але механізм подібного впливу не вивчений.

**Плюми і розсування літосферних плит.** Припускається (Морган), що напруг, які створюються плюмами у підвалинах літосферних плит, вистачає для розколювання кори. Альтернативний механізм (Сойферт): напруги від дії

плюмів приводять до первинного розколу плит уздовж древніх ослаблених зон на кшталт цвяху, який при забиванні його в дошку розколює її вздовж волокон. Тоді речовина мантиї піднімається у діапірах, заповнюючи утворену тріщинну зону. Допоки температура речовини плюму вище, ніж у навколишній мантиї, його підйом триватиме, розсуваючи плити. При цьому температура в мантиї зростає з свехдіабатичним градієнтом і тому її речовина легко переходить у режим конвективної циркуляції. Після того як плити починають рухатися, головною силою, що підтримує їх рух, постає сила відштовхування, що діє на прилеглих краях плит.

### **Контрольні питання:**

1. Які хімічні сполуки є первинними донорами водню та вуглецю?
2. Які є генетичні критерії прогнозування мантийних вогнищ генерації ВВ та нафтогазоносних територій над ними?
3. Які є діагностичні ознаки нафтогазоносних територій у геофізичних полях?
4. Якою є фізико-хімічна природа формування нафтогазоносних структур над мантийними вогнищами генерації ВВ?
5. Яким є механізм первинної внутрішньо-осередкової мобілізації ВВ?
6. Як пов'язані процеси дефлюїдизації мантиї і мантийний плюм-діапіризм?
7. Якими є дві сторони єдиного геодинамічного процесу, пов'язаного з мантийним плюм-діапіризмом і вторгненням мантийних флюїдальних систем з ВВ у земну кору?
8. Що таке «гаряча точка» і «мантийний плюм», назвіть причини їх утворення.
9. Що таке «асейсмічний хребет», назвіть механізми і місце і причини їх утворення.
10. Які є типи мантийних плюмів, назвіть їх головні риси.
11. Які діагностичні ознаки мантийних плюмів першого порядку?
12. Якими є вік, географічне розташування мантийних плюмів та їх вплив на процеси глобальної геодинаміки літосферних плит?

## ТЕМА 4. СУЧАСНА КОНЦЕПЦІЯ НАФТОГАЗОНОСНОСТІ ЗЕМНОЇ КОРИ

### 4.1. Мантійні вуглеводневі системи та їх відображення в нафтогазоносності земної кори

Первинні мантійні ВВ-системи відображаються у нафтогазоносності земної кори в межах осадових басейнів. В надрах НГБ завдяки експлозивного розвантаження надстиснених ВВ, акумуляції їх скупчень в структурах-пастках та збереженню їх від руйнування шляхом екранування покладів під регіональними флюїдоупорами, мантійні нафтові системи змінюють свій вихідний фазово-речовинний склад. Залежно від ступеню активності тектонічних деформацій і, відповідно, стану герметичності надр, мантійні ВВ-системи у земній корі розділяються за фазово-хімічним станом, перерозподіляються в поверхах осадового чохла НГБ, а згодом піддаються дегазації, карбонізації і метаморфізму.

#### 4.1.1. Визначення первинної мантійної ВВ-системи

Первинна мантійна ВВ-система у земній корі зазвичай географічно пов'язана до пари прилеглих тектонічних елементів: западина/осадовий басейн – гірсько-складчаста область та/або щит-кристалічний масив. В ідеальному НГБ вона представляє *послідовний ряд фазово-мінеральних ВВ асоціацій*, що змінюють одна одну за його простяганням:

сухий (метановий) газ – конденсат – нафта (від легкої до важкої) – бітуми (мальти, асфальти, асфальтіти, озокерит) – горючі вугільні сланці – вугілля (від бурого до антрациту) – антраксоліти - графіт - алмази.

Цей ідеальний *ряд метаморфізму первинних ВВ-систем*, що утворюється в процесі їх розвантаження і еволюції в земній корі, завершують алмазоносні кімберлітові трубки, що формуються в умовах максимальної розкритості надр і миттєвому вибуховому розвантаженні газо-флюїдних ВВ-систем у складі мантійних ксенолітів у при-поверхневих умовах. Ряд метаморфізму ВВ утворюється внаслідок послідовного послаблення екрануючих властивостей осадового чохла западин у напрямку рухливих складчастих систем і оголених ділянок платформ – щитів. Таким чином, перетворення речовинного складу ВВ має опосередкований зв'язок з активізацією новітніх вертикальних тектонічних рухів і складчастих деформацій через заміну відновлювальних геохімічних умов надр при розвантаженні глибинних ВВ до лужних умов поблизу ерозійного зрізу на денній поверхні, де нафтові системи зазнають деструкції.

Глибинні мантійні ВВ-системи мають щільний парагенетичний зв'язок з гідротермалітовою рудною мінералізацією і утворюють на крайньому ступені фазово-мінеральних асоціацій – уранову, рідкоземельну, благородно-

металеву, сульфідну, поліметалічну та інші *метало-вуглецеві асоціації*. Зв'язок промислової нафтогазоносності з районами поширення бітумів, горючих сланців, вугілля, антраксолітів і рудної мінералізації є свідченням формування спільного парагенетичному ряду під час розвантаження мантійних ВВ-систем на етапах тектоно-магматичної активізації земної кори. Від дниць западин у бік їх бортів в напрямку щитів та складчастих систем у цьому ряду фазово-мінеральних асоціацій закономірно зменшується площа поширення ВВ-систем. У цьому напрямку на тлі послаблення екрануючих властивостей регіональних флюїдоупорів збільшується ступінь трансформації первинних ВВ-систем. В процесах фізико-хімічного перетворення нафтових систем відбуваються процеси фракціонування, дегазація газоподібних і легких бензинових фракцій (газ – конденсат – легкі нафти), гіпергенне окислення і обваження нафт за рахунок збільшення вмісту асфальтено-смолистих фракцій (нафта – мальти – асфальти – асфальтіти – озокерит), карбонізація вторинних бітумних нафтидів – горючих вуглецевих сланців і вугілля. Нарешті, відбувається остаточна руйнація вихідних нафтових систем через високотемпературний контактово-термальний і гідротермально-метасоматичний метаморфізм вуглистих і вуглецевих сполук від індивідуальних ВВ нафти до вторинних каустобіолітів, графітизація кам'яного вугілля (пер-антрацити, графітизовані антрацити – графіт) та утворення алмазу як крайня форма метаморфізму вуглецю.

#### ***4.1.2. Зональність первинної мантійної ВВ-системи***

Розглянемо зональність первинною мантійної нафтової системи у двох основних типах НГБ континентальної земної кори:

1- *НГБ центрального типу* є симетричним в поперечному перерізі. Депоцентр розташований в осьовій частині, на борти осадовий чохол симетрично виклинюється (Західно-Сибірська мегасинекліза, Дніпровсько-Донецька палеозападина, басейни Паризький і Панонський, Маракайбо).

2- *НГБ крайового типу* є асиметричним в поперечному перерізі. Депоцентр розміщується з боку передгірного краю, від якого на борт осадовий чохол виклинюється різко асиметрично і спокійно залягає з боку платформи ((перикратонні Передкавказький, Передуральський прогини).

Зональність в поперечному перерізі через *НГБ центрального типу* від складчастого борту або кристалічного щита до іншого борту охоплює типовий послідовний ряд фазово-мінеральних асоціацій. Внаслідок метаморфічного перетворення первинних мантійних нафтових систем його складають: алмази – графіт – антраксоліти – кам'яне вугілля (від антрациту до бурого) – горючі сланці – бітуми і бітумоїди – нафта (від важкої до легкої) – газоконденсат – газ (осьова частина) – газоконденсат – нафта (від легкої до

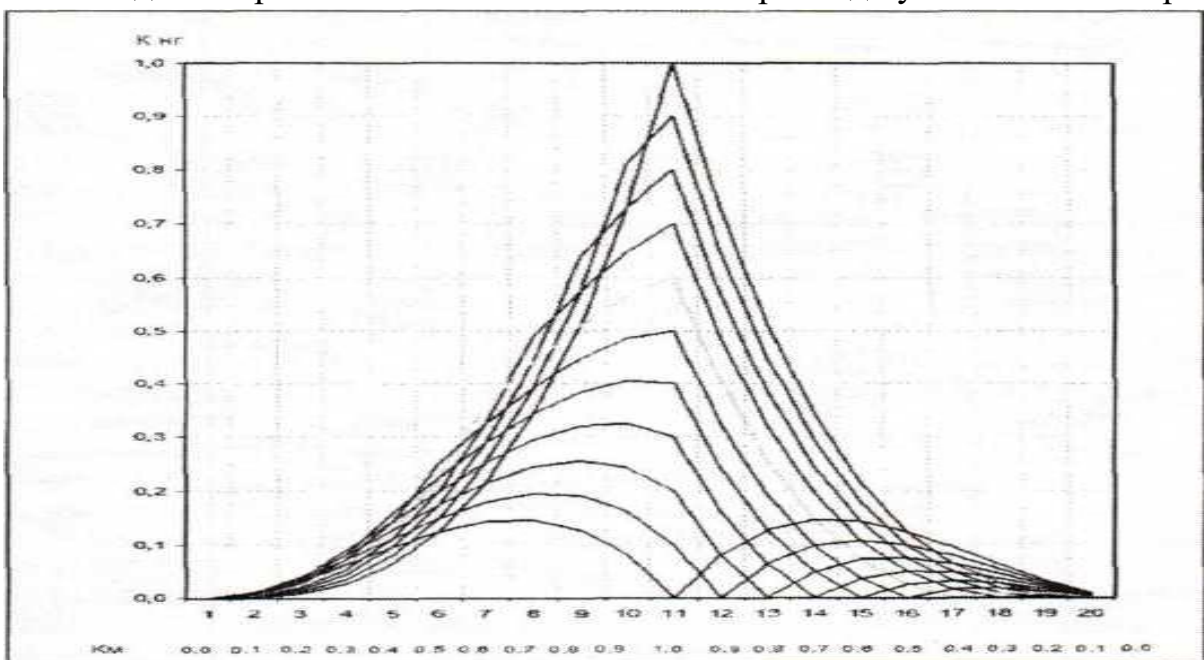
важкої) – бітуми – горючі сланці – вугілля (від бурих до антрацитів) – антраксоліти (від нижчих до вищих) – графіт – алмази. В умовах земної кори ця ідеальна схема латерального розподілу первинних мантійних нафтових систем за фазово-елементним і фізико-хімічним складом може порушуватися через перекриття ареалів суміжних фазово-мінеральних асоціацій внаслідок диференціації міграційних, акумуляційних і консерваційних властивостей в інфраструктурі осадових басейнів.

Графік теоретичного розподілу ресурсного потенціалу НГБ характеризує нафтогазоносність надр для моделі двох суміжних, розділених гірничо-складчастою зоною осадових басейнів (рис. 1) за співвідношеннями коефіцієнтів міграції ( $K_m$ ) – проникності надр і збереження ( $K_z$ ) – екранування, консервації скупчень ВВ в природних пастках. Абсолютна величина ресурсів ВВ у НГБ виражена через коефіцієнт акумуляції ( $K_a$ ), який є функцією загального об'єму пасток ВВ, вірогідність заповнення яких визначається величиною коефіцієнту нафтогазоносності ( $K_{нг}$ ).

За даними з НГБ світу емпірична залежність розподілу розвіданих запасів ВВ ( $Q$ ) від величини  $K_{нг}$  апроксимується статичною функцією виду

$$\lg Q = a + b \times \lg K_{нг},$$

де  $a$  і  $b$  - коефіцієнти, що оцінюються по методу найменших квадратів ( $a = 4,69$ ,  $b = 1,57$ ). Логарифм запасів ( $\lg Q$ ) утворює пряму залежність з  $\lg K_{нг}$ , що підтверджує правильність вибраної апроксимації. Отримана залежність дозволяє прогнозувати нафтогазоносність НГБ в абсолютних значеннях запасів. Логарифмічний розподіл родовищ ВВ за величиною запасів для НГБ СЄП свідчить про спільність основних законів розподілу ВВ в земній корі.



**Рис. 1.** Теоретичний розподіл прогнозної оцінки ресурсного потенціалу НГБ ( $K_{нг}$ ) для моделі двох суміжних, розділених гірсько-складчастою зоною, осадових басейнів в можливих поєднаннях співвідношень відносних значень міграції ( $K_m$ ) і консервації за

ковзання осі коефіцієнта збереження (Кз): 1 – днище осадового басейну № 1, 11 – вісь складчастої зони, 20 – днище осадового басейну № 2.



## Тема 4.2. Основні закономірності нафтогазоносності надр НГБ

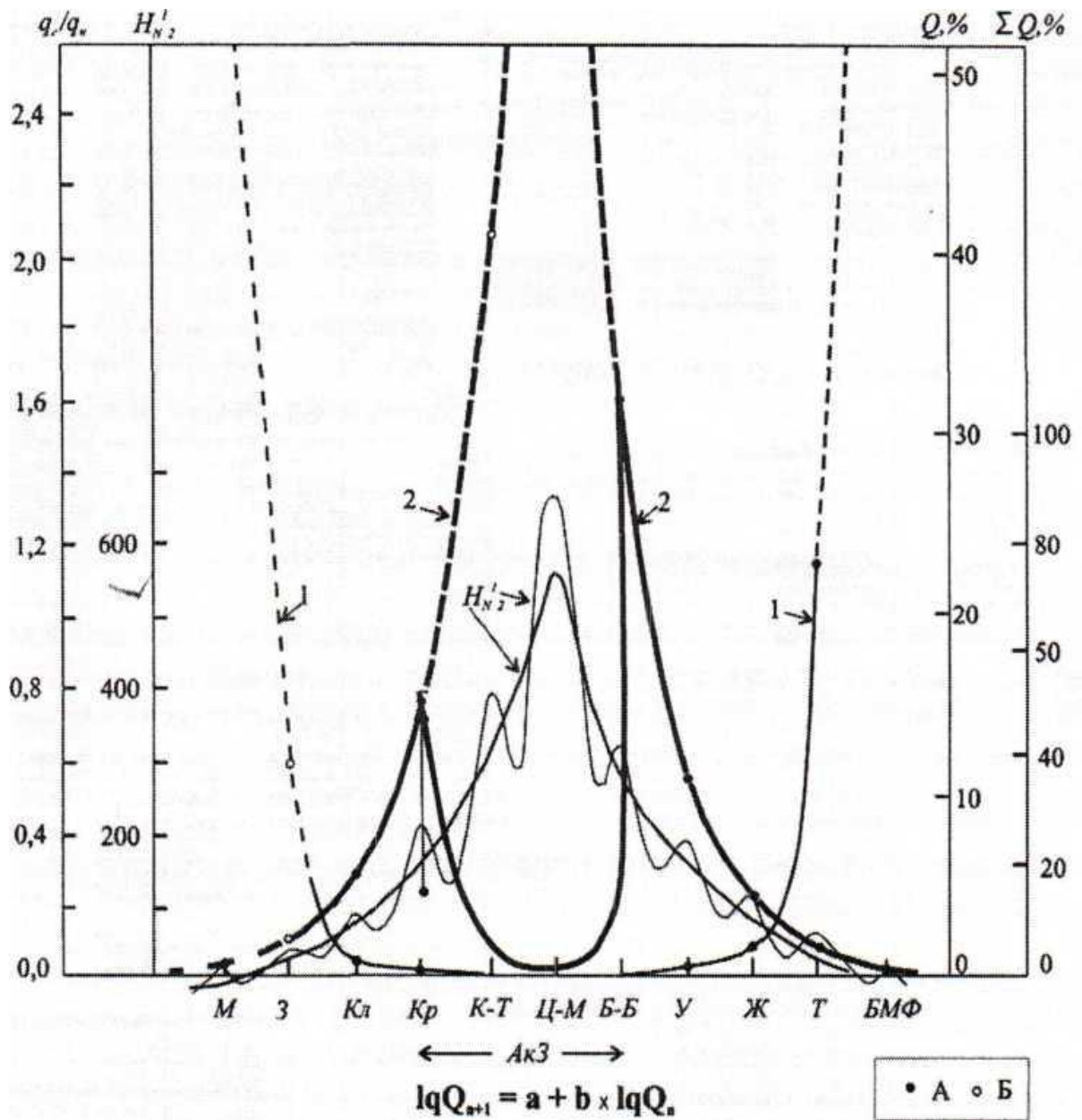
### 4.2.1. Закономірності просторово-стратиграфічного розподілу ВВ

Порівняльний аналіз інформативності геологічних критеріїв нафтогазоносності НГБ (О. Тімурзієв, 2016) показав, що закономірності просторового поширення і стратиграфічної приналежності покладів і основних запасів ВВ прямо залежать від ступеню активності новітніх тектонічних рухів і деформацій земної кори. За даними зі світових НГБ різної будови, віку і історії розвитку (Месопотамський прогин, Терсько-Каспійський прогин, ДДЗ, Західно-Сибірська мегасинекліза) встановлено закономірність концентрації промислових скупчень ВВ у зонах середніх між максимальними і мінімальними для даного НГБ значень активності (амплітуда, градієнт амплітуд, швидкість) вертикальних неотектонічних рухів. Отже, характер зв'язку нафтогазоносності з неотектонікою полягає в тяжінні зон нафтогазонакопичення до районів з середніми значеннями амплітуд і швидкостей неотектонічних рухів.

В інтервалі сприятливих значень активності новітніх деформацій земної кори, що контролюють нафтогазоносність надр, в бік збільшення значень активності вертикальних рухів стратиграфічний діапазон локалізації запасів ВВ закономірно розширюється. Причому кожному регіону властивий власний інтервал сприятливих значень активності неотектонічних рухів, що визначають локалізацію запасів ВВ в розрізі земної кори.

Закономірність приналежності територій нафтогазонакопичення в прикордонних між платформними та гірсько-складчастими областями до околиць складчастих споруд, що вперше була встановлена І. Губкіним (1957), має підтвердження у встановлених зв'язках просторово-стратиграфічного розподілу типів родовищ за фазовим складом ВВ як функції активності новітніх тектонічних рухів в даному НГБ.

На прикладі Мангишлацького нафтогазовидобувного району Азербайджану показано дзеркальну щодо новітніх тектонічних дислокацій поведінку кривої газомісту через: крива 1- відношення запасів газу до запасів нафти ( $Q_g/Q_n$ ), крива 2- відносно частини запасів ВВ антиклінальних зон у сумарних запасах ВВ регіону (рис. 2). Для обох НГО встановлений зворотній відносно одна одної хід кривих 1 і 2. Характер кривих свідчить про логарифмічну функцію розподілу аналізованих параметрів: внапрямку Мангишлацького району дислокацій з півдня (Південно-Мангишлацька НГО) і з півночі (Північно-Бузачинська НГО) за логарифмічним законом відбувається зниження газомісту і підвищення загальних запасів ВВ антиклінальних зон.



**Рис. 2.** Характер співвідношення газовмісту (1) долі запасів ВВ від сумарних запасів ВВ регіону ( $\Sigma Q, \%$ ); (2) по структурних (антиклінальних) зонах з активністю (амплітудою  $H_{N_1/2}'$ ) новітніх деформацій земної кори в поперечному профілі через Бузачинське склепіння, Центрально-Мангишлацьку зону дислокацій і Південно-Мангишлацький прогин. Шкала запасів : справа ( $\Sigma Q, \%$ ) і суцільна частина кривої 2 – фактичні значення розвіданих запасів; ліворуч ( $Q, \%$ ) і штрихова частина кривої 2 – розрахункові значення теоретичного розподілу запасів ВВ для симетричного відносно двох НГО вогнища генерації ВВ (формула розподілу  $lqQ_{n+1} = a + b \times lqQ_n$ ). Криві амплітуди неотектонічних рухів – фактична, така, що відповідає нормальному закону розподілу, і теоретична (відновлена), така, що відповідає закону затухаючої синусоїди, А – фактичні, Б – розрахункові значення величин газовмісту і долі запасів ВВ по антиклінальних зонах для суміжних НГО. Структурні (антиклінальні) зони: М – Морська, З – Заповідна, Кл – Каламкаська, Кр – Каражанбаська, К – Т – Кошак-Торлунська, Ц-м – Центрально-Мангишлацька, Б-Б – Беке-Башкудукська, У – Узеньська, Же – Жетибайська, Т – Тенгинська, БМФ – Велика Мангишлацька флексура; АкЗ – аконсерваційна зона.

Ці зв'язки пояснюють глобальну газоносність (метаногідратність) континентального шельфу світового океану як структурний прояв цього другого планетарного градієнтного рівня геоїда, сформованого неотектонічними рухами альпійського тектогенезу. Нафтогазоносність першого планетарного (континентального) рівня, пов'язана з околицями складчастих поясів і споруд (пере- та міжгірські прогини гірсько-складчастих та платформних складчастих областей на кшталт Західно-Донецької), названа *«основним законом розподілу нафтових родовищ»*. Отже, зв'язок просторового тяжіння скупчень ВВ до зон нафтогазоносних басейнів з середніми значеннями амплітуд, градієнтів амплітуд і швидкостей неотектонічних рухів можна вважати *«законом просторово-стратиграфічного розподілу ВВ в земній корі»*.

У рамках теорії абіогенно-мантіїного генезису ВВ встановлені зв'язки відображають не лише глобальний розподіл осередків глибинного нафтогазоутворення, але і визначають ділянки земної кори над осередками розвантаження ВВ на градієнтних рівнях сучасної земної поверхні, сформованих під дією новітніх тектонічних рухів альпійського тектогенезу.

#### ***4.2.2. Фізичне підґрунтя закономірностей просторово-стратиграфічного розподілу ВВ***

Зв'язки просторово-стратиграфічного розподілу запасів ВВ з активністю новітніх деформацій земної кори мають фізичну (геомеханічну) основу і знаходять своє пояснення при розгляді фізичного сенсу коефіцієнта проникності ( $K_{пр}$ ) у формулі закону фільтрації Д'арсі:

$$K_{пр} = Q\mu L / F\Delta P,$$

де  $Q$  – об'ємна витрата рідини,  $m^3$  через породу за 1 с (питома витрата рідини);  $\mu$  – динамічна в'язкість рідини (Пуаз);  $L$  – довжина шляху фільтрації, м;  $F$  – площа фільтрації,  $m^2$ ;  $\Delta P$  – перепад тиску на довжину зразка породи, МПа (градієнт тиску).

Згідно розмірності  $K_{пр}$  ( $m^2$ ), проникність характеризує діаметр каналів фільтрації або, що теж саме, розкритість тріщин. У такому розумінні фізики процесу, при формуванні покладів ВВ по механізму вертикальної міграції: що більше  $K_{пр}$  фільтруючої породи, тобто розкритість тріщин, тим буде довшим шлях фільтрації ( $L$ ), або *стратиграфічний рівень локалізації покладів ВВ*, а також питома витрата рідини ( $Q$ ), тобто *абсолютні запаси ВВ* за інших рівних умов (динамічна в'язкість ВВ, площа фільтрації, градієнт тисків на довжині шляху міграції від вогнища генерації ВВ в астеносфері до зони акумуляції у земній корі).

Для з'ясування геологічних зв'язків з цим законом згадаємо, що згідно *геомеханічного закону М. Гзовського (1975)*, градієнт швидкості тектонічних рухів прямо пов'язаний з геодинамічною напругою, яка викликала деформацію, і дорівнює швидкості деформації земної кори. Тому, величина градієнта швидкості новітніх тектонічних рухів (grad V) дорівнює градієнту амплітуд новітніх тектонічних рухів (grad A):

$$\text{grad A} = \text{grad V/T},$$

де T - тривалість неотектонічного етапу, величина постійна),

Обидва показники є кількісним виразом ступеню напруженого стану і деформацій земної кори. Беручи до уваги, що деформації порід є результатом розрядки тектонічної напруги, приходимо до висновку: максимальні деформації і тріщинуватість гірських порід земної кори, або розкритість тріщин і проникність розрізу розвинуті на ділянках найвищої активності неотектонічних рухів, тобто максимальних градієнтів амплітуд і швидкостей деформацій.

З іншого боку, А. Ставрогіним (1968) емпірично встановлена функціональна залежність між коефіцієнтом проникності ( $K_{\text{пр}}$ ) і залишковим збільшенням об'єму гірської породи ( $\Delta V/V_{\text{ост}}$ ) в процесі нерівномірного стискання зразків гірських порід, тобто при об'ємній деформації. Це свідчить, що величина градієнта швидкості неотектонічних рухів безпосередньо характеризує міру деформації гірських порід і служить кількісним показником інтенсивності тріщинуватості і проникності земної кори. Розглядаючи формування покладів ВВ по механізму вертикальної міграції як фізичний процес перенесення речовини на довжину шляху міграції від осередка генерації до зони акумуляції через одиницю площі перерізу, рівної площі структури, при депресії, яка визначається різницею літостатичного і гідростатичного тисків, і об'ємній втраті рідини, яка визначається загальними запасами покладу ВВ (Q), скориставшись формулою закону фільтрації Дарсі, можна надати фізичне обґрунтування емпіричному закону розподілу масштабів нафтогазонакопичення в земній корі.

Отже, згідно закону фільтрації Дарсі об'ємна втрата рідини через гірську породу за одиницю часу, тобто *загальні запаси ВВ* в НГБ (Q):

$$Q = K_{\text{пр}} F \Delta P \mu L$$

прямо пропорційна проникності розрізу ( $K_{\text{пр}}$ ), площі фільтрації (F) і перепаду тиску на шляху фільтрації ( $\Delta P$ ), та обернено пропорційна до динамічної в'язкості ( $\mu$ ) і довжині шляху фільтрації (L) флюїду. Відповідно до цього, в

геологічних термінах загальні запаси нафти НГБ (Q) тим вище, що вище проникність розрізу (градієнт амплітуд або швидкості неотектонічних рухів,  $\text{grad } V$ ), площа фільтрації (площа геологічної структури, F), і перепад тиску на шляху фільтрації від осередка генерації до зони акумуляції ВВ ( $P_{\text{Нгдр}} - P_{\text{пл}}$ , де  $P_{\text{Нгдр}}$  – надгідростатичний тиск ( $P_{\text{Нгдр}} \gg P_{\text{пл}}$ ). І, відповідно, тим вище, чим нижче динамічна в'язкість флюїду ( $\mu$ ) і менше довжина шляху фільтрації (L) від осередка генерації ВВ в астеносфері до скупчення у земній корі.

У цих зв'язках також приховані і генетичні причини зональності фазового складу ВВ і форм мінеральних асоціацій ВВ ряду. Відповідно до закону Д'арсі, градієнт амплітуд неотектонічних рухів, функціонально пов'язаний з коефіцієнтом проникності розрізу земної кори, безпосередньо впливає на масштаби вертикальної міграції ВВ (втрата рідини через одиницю перерізу земної кори при розвантаженні у корі мантійних осередків нафтогазоутворення) і стратиграфічний діапазон нафтогазоносності розрізу (довжина шляху фільтрації ВВ в розрізі земної кори).

Таким чином, зростання стратиграфічної приналежності скупчень в НГБ, так само як і збільшення абсолютних запасів ВВ в ньому в бік збільшення градієнта швидкості неотектонічних рухів, має як емпіричне, так і фізичне обґрунтування. Натомість, вплив екрануючих властивостей осадового чохла на довжину шляху фільтрації в процесі вертикальної міграції ВВ до стратиграфічного рівня локалізації покладів є *зворотнім*.

Отже, глобальна нафтогазоносність осадових басейнів Землі контролюється, в першу чергу, *флюїдо-екрануючими властивостями* осадової товщі, а не нафтогазо-генеруючими. НГБ служать глобальними резервуарами для нафти і газу, тому що перешкоджають розсіюванню через вловлювання мантійних ВВ-струменів на шляхах вертикальної міграції і розвантаження глибинних ВВ в земній корі. У бік бортів НГБ і в складчастих областях щільність мантійних ВВ-струмів стрімко зростає внаслідок збільшення проникності розрізу. Проте завдяки загальній відкритості надр через послаблення екрануючих властивостей розрізу величезні об'єми глибинних ВВ розвантажуються в при-поверхневих умовах, утворюючи морські газогідратні скупчення або гірше розсіюючись в атмосфері, ґрунтових водах, піддаючись фізичній і біохімічній деструкції, метаморфізму і трансформаціям протягом епігенезу в окислювальних процесах карбонізації вуглецевої речовини у зоні гіпергенезу.

На прикладі НГБ різноманітної тектонічної будови і історії розвитку встановлена універсальна закономірність в розподілі запасів ВВ у земній корі, що полягає в тяжінні промислових скупчень ВВ до середніх між максимальними і мінімальними для даних територій градієнтів амплітуд (швидкості) неотектонічних рухів. Причому, і стратиграфічна приналежність

основних запасів ВВ знаходиться в у функціональному зв'язку з параметрами активності неотектонічних рухів, тому може достовірно прогнозуватися.

Таким чином, перспективним напрямом з освоєння глибинної нафти, крім вирішення завдань техніко-технологічного забезпечення надглибокого буріння, є прогнозування нетрадиційних скупчень ВВ на шляхах міграції у геодинамічних зонах розтягу і розуцілення у верхній частині земної кори.

### **4.3. Закономірності нафтогазоносності осадових басейнів Землі**

#### ***4.3.1. Закономірності стратиграфічної приналежності покладів ВВ***

З ростом градієнта вертикальних амплітуд та швидкості неотектонічних рухів стратиграфічний рівень локалізації покладів і сумарних розвіданих запасів ВВ закономірно підіймається. Причому, при значеннях градієнта швидкості нижче нижньої межі нафтогазоносності і вище верхньої межі нафтогазоносності скупчення ВВ не формуються через те, що ВВ або не проникають в осадовий чохол (перший випадок), або руйнуються внаслідок фізико-біохімічної деструкції та метаморфізму (другий випадок). Отже, розширення стратиграфічного діапазону покладів нафти і газу і поверху нафтогазоносності в НГБ на пряму пов'язане зі збільшенням активності (амплітуд, градієнта амплітуд і швидкості) новітніх тектонічних рухів.

#### ***4.3.2. Закономірності просторового розподілу скупчень ВВ***

Формування і розміщення зон нафтогазонакопичення в НГБ пов'язано з зонами підвищених градієнтів неотектонічних рухів. Тому, в межах зон нафтогазонакопичення родовища нафти і газу приурочені до локальних позитивних структур з максимальними значеннями амплітуд, градієнтів і швидкостей неотектонічних рухів.

#### ***4.3.3. Закономірності змін фазового складу і фізико-хімічних властивостей ВВ у надрах нафтогазоносних басейнів***

Закономірності змін фазового складу ВВ в надрах НГБ є наступними :

- 1- області новітнього прогинання земної кори властиве газонакопичення;
- 2- областям перехідних геодинамічних обстановок властиве нафтонакопичення;
- 3- областям максимального новітнього здимання притаманне бітумонакопичення та руйнування первинних нафтогазових скупчень.

Фізико-хімічні властивості ВВ-скупчень мають певні закономірності у межах НГБ. За груповим складом спостерігається загальне обважнювання ВВ зі збільшенням амплітуд антиклінальних зон і локальних структур. Це пов'язане з дегазацією і розконсервацією покладів ВВ в умовах їх приповерхневого залягання через послаблення екрануючих властивостей та

руйнування регіональних флюїдоупорів на денній поверхні. Тому, скупчення нафти і газу, що групуються в зони нафтогазонакопичення, тяжіють зазвичай до лінійних зон максимумів градієнта амплітуд/швидкостей неотектонічних рухів. В полі низьких і фонових значень даного градієнта скупчення ВВ зазвичай відсутні. Величиною градієнта амплітуд/швидкостей неотектонічних рухів визначається як стратиграфічний рівень локалізації покладів і основних запасів ВВ, так і фазовий склад і фізико-хімічні властивості ВВ у скупченнях даного НГБ.

Геодинамічний (неотектонічний) критерій в комплексі критеріїв нафтогазонакопичення, прямо впливає на умови і масштаби вертикального тепломасоперенесення і вторгнення мантийних ВВ-систем у земну кору. Новітня активність тектонічних структур земної кори, незалежно від їх морфо-генетичного типу і історії геологічного розвитку, безпосередньо визначає масштаби розвантаження глибинних ВВ-систем. В свою чергу, масштаби нафтогазонакопичення визначаються об'ємами структур-пасток та екрануючими властивостями регіональних флюїдоупорів у межах НГБ. Отже, просторовий і стратиграфічний розподіл ВВ в земній корі, зональність фазового складу і фізико-хімічних властивостей ВВ-систем в НГБ визначаються неотектонічними чинниками.

Обважнення складу ВВ-систем має прямий зв'язок з ростом не лише стратиграфічного інтервалу їх локалізації, але і гіпсометричного розміщення у надрах фазово-мінеральних асоціацій, що їх складають. У цьому ряду бітуми, сланці, вугілля і антраксоліти займають найвище гіпсометричне положення і відповідають максимальному ступеню перетворення первинних мантийних газофлюїдних ВВ-систем в умовах руйнівної для скупчень нафти і газу зони приповерхневого гіпергенезу.

Прикладами промислових скупчень ВВ як прояву геодинамічного (неотектонічного) критерія є приповерхнєве залягання в нафтовому поясі Оріноко 475-600 млрд т важкої нафти (Венесуела); 480 млрд т нафтових пісків Атабаска, Уобаска, Колд-Лейк і Піс-Рівер (Канада). На Алясці (США) на родовищі Купарук на глибинах 610-1220 м запаси важкої нафти складають близько 4,5 млрд т; в Мелекесьській улоговині (Прикаспійська западина) на глибині до 150 м запаси бітумів оцінені в 18 млрд т.

Вивчення рудних полів в межах складчастих областей і древніх щитів континентів показало, що промислові рудні поля часто асоціюють з породами з високим вмістом вуглецевої речовини (бітумінозні вапняки, бітумінозні і вуглисті сланці, горючі сланці та ін.). Вуглецева речовина грає велику роль в осадженні сполук урану завдяки відновлювальній геохімічній здатності та утворення адсорбуючого середовища для металоорганічної мінералізації, свинцево-цинкового і іншого поліметалічного, рідкоземельного

і благородно-металевого оруденіння (золото, ртуть та ін.). З огляду на парагенетичні зв'язки оруденіння з бітумінозними вапняками, бітумінозними, вуглистими і горючими сланцями, антраксолітами та ін. вуглець-вмісними породами, вважається, що в гідротермальних рудоутворюючих процесах ВВ-системи грають роль супутніх, асоційованих компонентів у рудно-магматичних струмах, а наявні мінерали є лише залишками від руйнування дериватів ВВ-систем у складі рудоутворюючих систем.

Області поширення бітумно-сланцево-вугільних ареалів вторгнення мантийних ВВ-систем супроводжується промисловою ураноносністю порід. Вона зазвичай пов'язана з чорносланцевими формаціями, де обумовлена як збільшенням концентрації урану в гідротермальній флюїдній системі, що містить ВВ, так і підвищенням кларка урану у зв'язку з дегазацією, гіпергенним окисненням і метаморфізмом первинних ВВ-систем. Глибини дренажу кори і верхньої мантиї гідротермальними ВВ-флюїдними струмами зазвичай збільшуються у бік складчастих бортів НГБ, так само як і активність новітніх деформацій земної кори (амплітуда і градієнт амплітуд висхідних рухів). У цьому ж напрямі збільшуються глибини проникнення і масштаби дренажу мантиї коро-мантийними розломами, загальна проникність осадового чохла НГБ за рахунок поширення тектонічної тріщинуватості гірських порід, послаблення екрануючих властивостей регіональних флюїдоупорів, ступень метаморфізму і деструкції ВВ-систем.

Натомість, загальна газонасиченість ВВ-систем НГБ збільшується зі збільшенням потужності осадового заповнення униз по розрізу осадового чохла та в напрямку осьових депресій. Подекуди збільшення газонасиченості ВВ-систем у бік бортів НГБ пов'язане з закономірним збільшенням в цьому ж напрямі товщин регіональних флюїдоупорів нафтогазоносних комплексів, заміщенням їх хемогенними покришками, а також омолодженням ВВ-систем, завдяки сучасному підживленню давніших скупчень. Внаслідок найвищої міграційної спроможності газової складової ВВ-систем, зв'язок газових скупчень з екрануючими властивостями осадового чохла і регіональних флюїдоупорів в НГБ є дуже щільним.

Мантийні тепло-енергетичні і флюїдо-динамічні осередки (астенолінзи, плюми), як вогнища генерації глибинних ВВ-систем, ймовірно визначають етапність, тобто тектономагматичні цикли розвитку земної кори. Вони можуть бути причиною утворення концентричних (кільцевих і овальних) та лінійних тектонічних структур земної кори, що формуються над мантийними плюмами-діапірами протягом їх вторгнення. Таким чином, структуроформування у земній корі та розподіл в надрах НГБ флюїдогенних корисних копалин (нафта, газ, рудні та нерудні гідротермаліти) залежать від форми і масштабу винесення речовини з глибинних мантийних джерел.



#### **4.4. Геологічні критерії прогнозування шляхів вертикальної міграції глибинної нафти в надрах нафтогазоносних басейнів**

Нафтогазоносність надр НГБ характеризується наступними парагенетичними зв'язками:

- геодинамічна зона розтягу земної кори - вертикальна міграція із мантиї з подальшим вибуховим вторгненням флюїдно-гідротермальної ВВ-вміщуючої системи у надра осадового басейна;
- активізована розломна зона у кристалічному фундаменті – розломи оперення (горизонтальні зсуви) в зонах їх динамічного впливу в осадовому чохла – при- та надзсувна складчастість - формування структурних пасток, сприятливих для акумуляції ВВ;
- флюїдне насичення розуцільнених прирозломних зон – гідравлічний розрив гірських порід осадового чохла надстисненими ВВ-флюїдно-гідротермальними системами із заповненням проникних пластів-колекторів під регіональними флюїдоупорами з формуванням скупчень ВВ, стратиформно-жильного нафтонасичення і полів гідротермалітів.

Отже, геодинамічні критерії нафтогазоносності земної кори полягають в структуроформуючій ролі ре-активізованих розломних зон фундаменту і розподілу в їх межах геодинамічних зон і структур розтягу земної кори. Структури розтягу кори забезпечують зв'язок глибинних мантийних осередків генерації ВВ з тектонічними структурами земної кори в процесі ремобілізації глибинних розломів протягом фаз тектоно-магматичної активізації, що ініціюється та стимулюється флюїдно-динамічними імпульсами внаслідок вторгнення високо-напірних мантийних гідротермальних ВВ-систем.

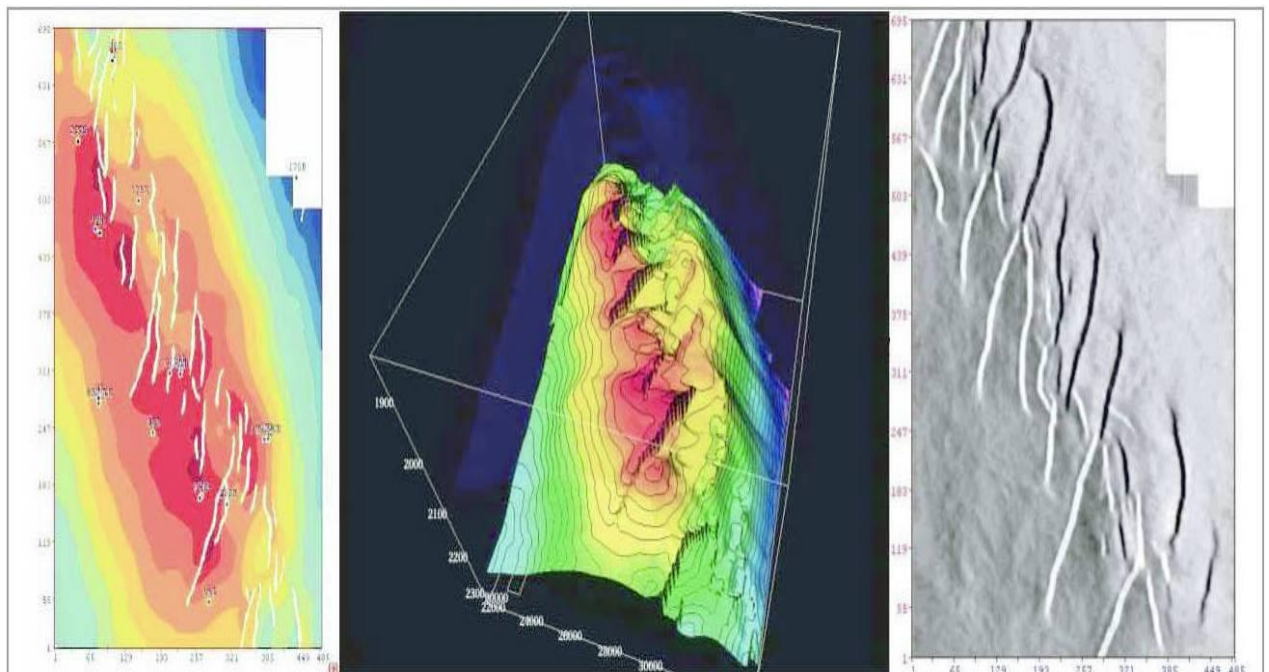
##### ***4.4.1 Механізми формування каналів вертикальної міграції глибинної нафти в розломних зонах фундаменту***

В процесі горизонтальних рухів тектонічних блоків фундаменту у зонах активізованих розломів формуються структури стискання та розтягу земної кори. Перші є підняттями у вигляді горстових виступів фундаменту і купольних структур типу тектоно-магматичних споруд. Другі є западинами і морфологічно представлені улоговинами інверсійного обвалення порід в апікальних частинах цих підняттях, що раніше зазнавали здіймання. Тектонічна експлозивна брекчія газового прориву і інші ознаки руйнування та розуцільнення гірських порід на цих структурах включно різноманітні форми діапїризму (магматичний, глиняний, соляний, нафтово-бітумний) є діагностичними ознаками тектонічно ослаблених зон. Зони деформацій утворюються внаслідок здіймання з наступним розтягом земної кори. У цих зонах переважають горизонтальні рухи блоків уздовж активізованих розломів фундаменту. Внаслідок зсувної тектоніки над магістральними

розломами фундаменту формуються структури горизонтального зсування (СГЗ). До локальних зон розтягу земної кори у межах СГЗ просторово і парагенетично пов'язані вертикальні канали вторгнення мантийних нафтових систем. Причина формування СГЗ в осадових басейнах Землі полягає у відмінності фізико-механічних властивостей гірських порід більш пластичного осадового чохла і крихкого кристалічного фундаменту, тобто в різній реакції масивів гірських порід на горизонтальні та вертикальні рухи різних напрямів і кінематики в полі тектонічних напруг та деформацій.

Зсувна тектоніка активізується завдяки вторгненню напірних глибинних ВВ-флюїдів в розуцільненні гірські породи прирозломної зони. Структурний контроль структур розтягу земної кори або СГЗ і каналів вертикальної міграції глибинної нафти здійснюють горстові виступи і флексурні зони фундаменту, в апікальних частинах яких вони формуються у якості вторинних структур деформаційного руйнування і флюїдно-динамічного прориву глибинних високо напірних нафтових діапирів.

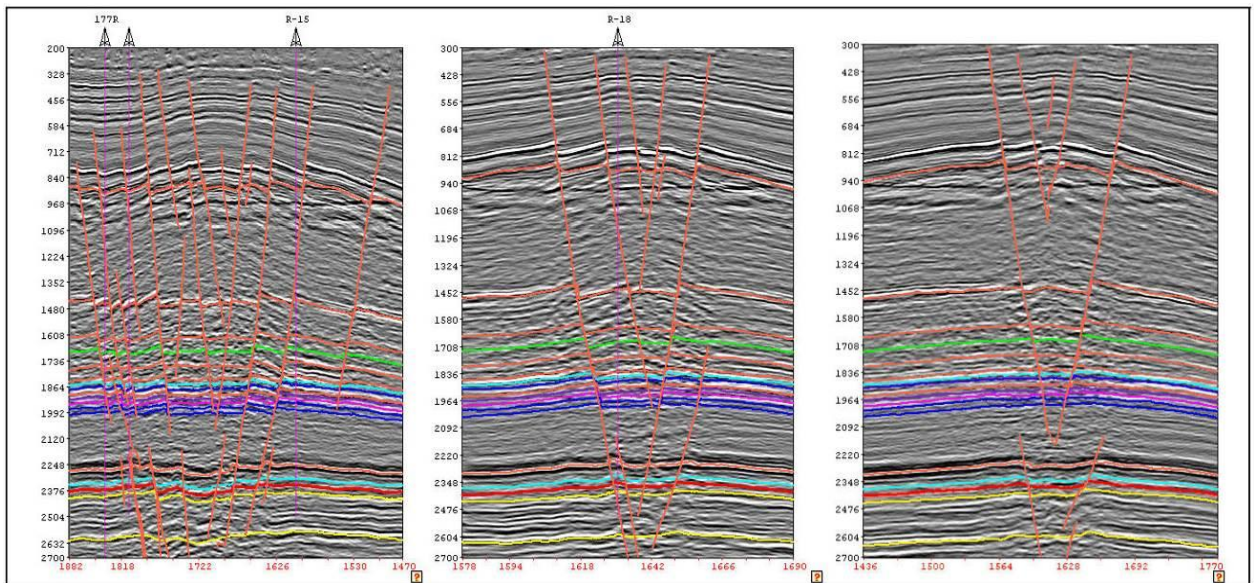
Будові СГЗ, які вміщують локальні і регіональні нафтогазоконтролюючі структури осадового чохла, притаманний характерний кулісний рисунок розломів у плані, а в розрізі – телескопічна будова, «вкладена» в структуру механо-деформаційного тіла інверсійного обвалення експлозивного апарату нафтогазового діапіру (рис. 3, 4).



**Рисунок 3.** Модель структур горизонтального зсування на північному куполі Єти-Пуровського валу (Західно-Сибірська мегасінекліза).

**а** - структурна карта; **б** - аксонометрія покрівлі баженовської свити верхньої юри, деформованої вторинними структурними улоговинами пост-седиментаційного обвалення; **в** - кулісна структура ешелонованого каркасу кулісних горизонтальних зсувів оперення в

осадовому чохладі над зоною зсування у фундаменті у покрівлі продуктивного горизонту ПК сеноманського ярусу верхньої крейди.



**Рис. 4.** Поперечні сейсмічні перерізи через центральний купол Єти-Пуровського вала. Морфологічні типи зсувів оперення і структурних парагенезів осадового чохла у зоні динамічного впливу зсуву фундаменту. Типи структур, зліва направо: "квітка", телескопічна, "віялова". На тлі дезінтеграції порід в межах зони динамічного впливу горизонтального зсуву фундаменту спостерігається різке зниження акустичної жорсткості і зміна атрибутів сейсмічного запису. Вертикальний шлейф деформацій в осадовому чохладі відбиває розташування каналу флюїдно-динамічного прориву в кристалічному фундаменті над мантийним осередком нафтового діапіру.

СГЗ в структурі осадового чохла виражені прогинами інверсійного просідання на антиклінальних купольних підняттях. Вони пов'язані з ділянками розтягу земної кори, у межах яких утворюються зони тектонічного брекчіювання та дроблення, пластично-в'язкої течії та нагнітання гірських порід, які заповнюють трубки флюїдно-динамічного прориву нафтового діапіру на локальних ділянках розтягу земної кори. Внаслідок інтенсивної механічної дезінтеграції порід і утворення вибухових брекчій в зоні динамічного впливу горизонтального зсуву відзначається різке зниження швидкостей акустичних хвиль. Просторовий зв'язок структурних (кулісна будова депресійних западин і розривних порушень) і флюїдо-динамічних (скупчення ВВ і поля гідротермалітів) парагенезів обумовлюється зв'язком СГЗ з геодинамічними зонами розтягу і підвищеної проникності земної кори.

Масштабний ряд СГЗ у земній корі варіює від локальних підняття до транс- і регіональних структур (ізометричні антиклінорії і валоподібні підняття). Тому геологічні діагностичні ознаки і кінематичний механізм формування каналів вертикальної міграції і розвантаження глибинної нафти

в зонах ре-активізованих коро-мантійних розломів у земній корі можна вважати спільним, а критерії і технології їх прогнозування універсальними.

Тектонічні деформації гірських порід сприяють активізації процесів міграції ВВ в НГБ, їх акумуляції в структурах-пастках при формуванні покладів нафти і газу їх примусовій фільтрації до вибоїв свердловин при розробці промислових скупчень. Масштаб та інтенсивність утворення проникних тріщин визначають ефективний об'єм зайнятий підземними флюїдами у природних резервуарах гірських порід. Цей висновок базується на емпірично встановленій прямій функціональній залежності між коефіцієнтом проникності ( $K_{пр}$ ) і залишковим збільшенням об'єму зразків гірських порід. Збільшення об'єму порід в процесі нерівномірного об'ємного стиснення є результатом розуцільнення порід, пов'язаного з утворенням відкритих для флюїдів тріщин відриву. Ця залежність підтверджує висновок про пряму залежність між градієнтом амплітуд новітніх вертикальних деформацій земної кори і проникністю гірських порід. Припускається можливість існування розкритих тріщин на весь розріз земної кори в умовах крихкого реологічного стану геосередовища (при величині деформації гірських порід вище межі міцності на розрив), а в астеносферному шарі літосфери в умовах нерівномірного тривісного стиснення при високих швидкостях деформаційних процесів, на кшталт сейсмодислокацій в тектонічно ослаблених зонах.

Таким чином, структури земної кори, що володіють максимальними густинами новітніх тектонічних розломів і тріщин та максимальними об'ємними деформаціями порід, постають максимально проникними для мантійних флюїдних струмів через максимальне розкриття тріщин і розломів. Останній зв'язок впливає з формули тріщинної проникності:

$$K_T = A \times B \times L / S,$$

де  $K_T$  – тріщина проникність,  $B$  – розкриття тріщин,  $L$  – довжина тріщин.  $S$  – площа шліфа,  $A$  – коефіцієнт пропорційності.

Теоретична проблема глибини проникнення відкритої тріщинуватості в земній корі пов'язана з практичним питанням глибини поширення пластів-колекторів нафти і газу. Воно визначається прямим парагенетичним зв'язком вторинних каверново-порово-тріщинних колекторів нафти і газу з відкритою тріщинуватістю, за якою формується ефективна порова, кавернова і тріщинна ємність. З глибиною цей зв'язок стає визначальним через інверсію колекторських властивостей за рахунок формування в практично непроникних породах вторинної проникної каверново-тріщиної ємності.

З огляду на зв'язок вторинних проникних тріщинних зон з каналами наднапірного вторгнення глибинних ВВ-систем, можливим постає механізм формування в низах осадового чохла і в кристалічному фундаменті НГБ при- та надрозломних скупчень ВВ жильного і пластово-жильного типу. Отже, проблема прогнозування скупчень глибинної нафти в інтервалі залягання середньої (10-20 км) і нижньої (понад 20-35 км) земної кори полягає у розробці надійних методів прогнозу каналів вертикальної міграції із мантиї, сформованих у проникних тріщинних зонах і просторово пов'язаних з ними нафтогазо- та гідротермаліто-насичених вторинних каверново-порово-тріщинних глибинних резервуарів.

### **Контрольні питання:**

1. Яким чином первинні мантийні ВВ-системи відображаються у нафтогазоносності земної кори?
2. Яким є послідовний *ряд фазово-мінеральних ВВ асоціацій*, що змінюють одна одну за простяганням ідеального НГБ.
3. Завдяки яким чинникам утворюється ідеальний *ряд метаморфізму первинних ВВ-систем*?
4. З якими корисними копалинами глибинні мантийні ВВ-системи мають щільний парагенетичний зв'язок?
5. Якою є зональність фазово-мінеральних асоціацій ВВ в поперечному перерізі через *НГБ центрального типу* ?
6. Якою є емпірична залежність розподілу розвіданих запасів ВВ (Q) від величини *K<sub>нг</sub>* за даними НГБ світу?
7. Якими є закономірності просторово-стратиграфічного розподілу ВВ за даними НГБ світу?
8. Якими чинниками контролюється глобальна нафтогазоносність осадових басейнів Землі ?
9. У чому полягають закономірності стратиграфічної приналежності покладів ВВ у надрах нафтогазоносних басейнів?
10. У чому полягають закономірності просторового розподілу скупчень ВВ у надрах нафтогазоносних басейнів?
11. У чому полягають закономірності змін фазового складу і фізико-хімічних властивостей ВВ у надрах нафтогазоносних басейнів?
12. Якими є геологічні критерії прогнозування шляхів вертикальної міграції глибинної нафти в надрах нафтогазоносних басейнів?
13. Якими є механізми формування каналів вертикальної міграції глибинної нафти в розломних зонах фундаменту?
14. Що таке структури горизонтального зсування і як вони виражені у структурі і розрізі осадового чохла НГБ?

## ТЕМА 1.

### 1. КЛАСИФІКАЦІЯ БАСЕЙНІВ ОСАДОНАКОПИЧЕННЯ

У земній корі внаслідок реалізації тектонічних напружень утворюються три типи деформаційних зон:

1- розтягнення, з якими пов'язаний спредінг океанічної кори, рифтогенез, дайковий магматизм, вулканізм і скиди;

2- стиснення, яким притаманні складчастість, підкиди і насуви і формування гірсько-складчастих споруд;

3- горизонтального зсування, де формуються тектонічні зриви і покривно-насувні дислокації з латеральними переміщеннями блоків і масивів гірських порід.

Кожній з цих зон властивий певний структурний прояв у земній корі, рельєфі денної поверхні, сейсмічність, магматична діяльність, тектонічний стиль деформацій, виражений структурними парагенезами.

Концепція глобальної тектоніки літосферних плит пов'язує з ними формування певних типів кордонів між літосферними плитами:

1) дивергентного, на якому плити розсуваються у протилежні боки з утворенням нової океанічної кори у межах осьових зон серединно-океанічних спредінгових хребтів, де літосфера нарощується;

2) конвергентного, де плити стикаються, причому або одна плита занурюється під іншу у зонах субдукції, де літосфера поглинається, або краї плит зминаються у зонах колізії, де літосфера зминається і потовщується;

3) горизонтального зсування, де плити зміщуються латерально відносно одна одної за трансформними розломами, де об'єм літосфери зберігається.

Тип деформації літосфери на між-плитних кордонах використовується як основа класифікації осадових басейнів з урахуванням певних умов. Наприклад, зони тектонічних дислокацій мають різний масштаб прояву у земної корі - від транс-регіональних, складчастих, мобільних поясів до елементарних деформаційних зон сколювання, що містять локальні структури горизонтального зсування, розтягнення або стиснення. Тектонічні зони утворюються як всередині плит океанічного та континентального типу, так і на їх кордонах. Структури розсування можуть утворюватися як на дивергентних кордонах, наприклад, поза-дугові басейни розтягу, так і конвергентних кордонах плит, наприклад, Pull-apart Basin. Крім того, у літосфері рідко відбуваються ортогональні до простягання між-плитних кордонів спільні переміщення плит, зазвичай рухи плит не перпендикулярні осі спредінга або простягання зони колізії. Через різні кінематику та кути рухів літосферних плит на між-плитних кордонах відбуваються комбіновані

деформації більш ніж одного типу. Слід також враховувати тип земної кори (континентальна, проміжна або океанічна), просторову і часову інверсію параметрів регіонального і локальних полів геодинамічних напружень.

Осадкові басейни (ОБ) у відповідності до тектонічної позиції підрозділяються (Редінг, 1985) на шість типів:

- 1- внутрішньоконтинентальні синеклізи, рифти і авлакогени;
- 2- басейни пасивних континентальних околиць;
- 3- басейни океанічних улоговин і вишин;
- 4- басейни зон субдукції;
- 5- басейни зон горизонтального зсування;
- 6- басейни зон колізії.

Тип ОБ найбільш достовірно визначається за характером геодинамічної обстановки і тектонічного режиму, чинному всередині літосферних плит:

А – внутрішньоплитних континентальних масивів;

Б – пасивних околиць континентів атлантичного типу;

В - активних околиць континентів андійського типу, що охоплюють зони субдукції та колізійні мобільні зони перехідних областей «континент-океан»;

Г - альпінотипної складчастості, включно гороутворення у колізійних поясах;

Д - крупних річкових дельт і підводних конусів виносу алювіальних осадів в акваторіях морів (табл. 1).

Таблиця 1. Класифікація осадових басейнів континентів та перехідних зон «континент-океан»

#### **А. Внутрішньоплитні осадові басейни (у континентальних частинах літосферних плит)**

##### ***1. Осадкові басейни докембрійських платформ (кратонів)***

##### **1-1. Синеклізи (intracratonic, interior cratonic, interior sag basins)**

###### *1-1a. Синеклізи тривалого розвитку*

( синеклізи Східноєвропейської платформи, Сахарської плити, Іллінойс, Мічіган Північноамериканської платформи)

###### *1-1б. Синеклізи короткочасного розвитку*

(Кару Африканської платформи)

##### **1-2. Лінійні западини**

###### *1-2a. Лінійні западини над рифтами, авлакогенами*

(Прип'ятська, Дніпровсько-Донецька, Бенуе, Південно-Оклахомська)

###### *1-2б. Інверсовані авлакогени (внутрішньоплитні складчасті пояси - inverted rifts)*

(Донецький складчастий пояс, складчастий пояс Уошіто, Високий Атлас)

##### **1-3. Перикратонні западини з редукованою «гранітною» корою**

(Прикаспійська, Мексиканської затоки)

**1-4. Крайові прогини та западини на околицях платформ** (на континентальних схилах, що відкриваються у бік океану або рухомого пояса - marginal cratonic basins, forland basins)

(западини Волго-Уральської синеклізи на околиці Руської плити)

**2. Осадові басейни молодих платформ**

**2-1. Западини платформні (синеклізи)**

(Західносибірська западина, Паризький басейн)

**2-2. Западини квазіплатформні**

(Тенгізська, Чу-Сарисуйська)

**3. Рифти** (елементи двох типів структур розтягу: а) грабен > рифт континентальний > область екстремального розтягу – Highly Extended Terranes), б) грабен > рифт континентальний > рифт океанічний)

**3-1. Рифти континентальні (continental rift)**

(Байкальський, Східноафриканський пояс, палеорифтові системи Мідконтиненту, Східноєвропейської платформи)

**3-2. Осадові басейни областей екстремального розтягу зі зривом у підваліні** (detachment basins of highly extended terranes)

(западина Пустелі Севір Провінції Басейнів та Хребтів, западина Стрімон)

**3-3. Рифти океанічні** (на океанічній корі, обстановки перед-спредінгу та початкових фаз спредінгу - Proto-oceanic rift throughs)

(Червоне море, Каліфорнійська затока)

**Б. Осадові басейни пасивних околиць континентів (passive margin basins, marginal sag basins)**

**1. Рифтогенні периконтинентально-океанічні осадові басейни**

**2. Трансформні периконтинентально-океанічні осадові басейни** (rift-transform (passive) margin basins)

**В. Осадові басейни активних конвергентних околиць плит (континентів)**

**1. Осадові басейни фронтальних систем колізійних поясів** (з явищами підсуву, а-субдукції) та зон субдукції

**1-1. Передові прогини колізійних поясів** (на континентальній корі) (foredeeps, foreland basins)

(Афгано-Таджицька западина, Передальпійський, Передуральський, Передкарпатський, Передгімалайський прогини)

**1-2. Переддугові прогини та жолоби** (на океанічній корі)

**1-2а. Переддугові прогини** (forearc basins)

**1-2б. Жолоби** (trench basins, trench-slope basins)

**1-3. Переддугові прогини з акреційними призмами**

(прикладі: прогини Каскадія, Барбадос)

**2. Тилові (задугові) западини крайових морів** - (backarc basins)

(западини Охотського моря)

**3. Міждугові та внутрішньодугові прогини**

(западини Хоккайдо, Ніігата)

**3-1. Міждугові прогини** (на океанічній корі – interarc basins)

**3-2. Внутрішньодугові прогини** (на континентальній корі – intra-arc basins)

**4. Залишкові басейни** (з океанічною корою - remnant basins)



**Г. Осадові басейни областей гороутворення (орогенні)**

1. *Між- та внутрішньо-гірські западини* (intermontane basins, intramontane basins)
2. *Передові гірські прогини* (за відсутності ознак субдукції - forland intermontane basins)

**Д. Осадові басейни річкових дельт та підводних конусів виносу (deep-sea fans)**

---

**КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ:**

1. Які типи деформаційних зон утворюються у земній корі внаслідок реалізації тектонічних напружень?
2. Які типи кордонів між літосферними плитами утворюються у земній корі внаслідок реалізації тектонічних напружень?
3. Які критерії використовуються як основа класифікації осадових басейнів?
4. Які типи осадових басейнів виділяються у відповідності до їх тектонічної позиції?
5. Які типи осадових басейнів виділяються у відповідності до геодинамічної обстановки і тектонічного режиму, чинному всередині літосферних плит?

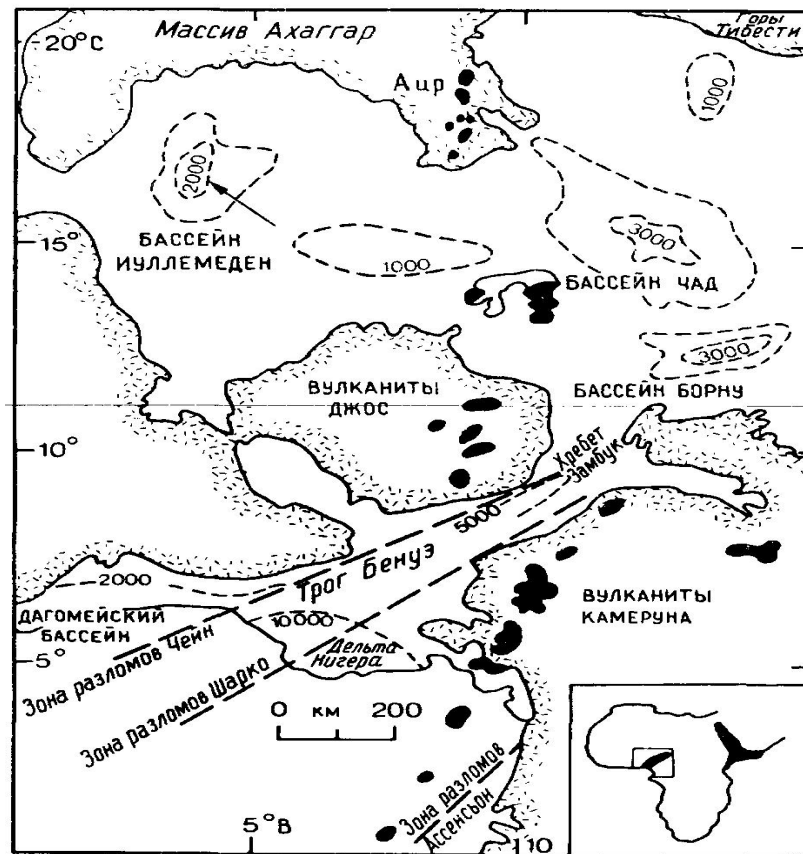
## 2. ВНУТРІШНЬО-КОНТИНЕНТАЛЬНІ СИНЕКЛІЗИ, РІФТИ І АВЛАКОГЕНИ

Осадові басейни у внутрішніх областях континентальних масивів розділяються на два типи: 1- *синеклізи* - відносно ізометричні западини без тектонічного контролю кордонів, 2- вузькі та протяжні улоговини, обмежені крайовими глибинними розломами, або *рифти*. Рифти поділяються на *термічно ініційовані*, що утворилися під дією мантийного плюм-діапірізму на окремих ділянках літосфери (гарячі точки), та *атермічні*, які сформувались через розколювання з наступним розсуванням холодної континентальної кори. Термічні рифти зазнавали дорифтового підйому континентальної кори з утворенням купольного підняття. Вони зазвичай мають потрійне променеве зчленування і можуть бути провісником розходження плит та розкриття океану. Атермічні рифти не пов'язані з областями активізації мантиї та дорифтового купольного здіймання кори, а тяжіють до областей континентальної колізії з горизонтально-зсувною компонентою напружень.

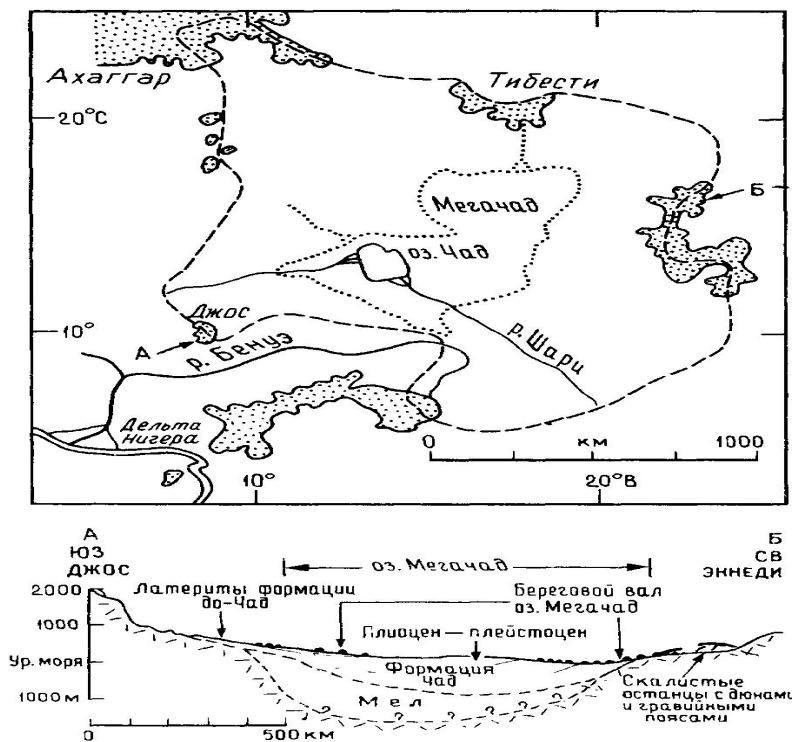
### 2.1 Синеклізні басейни.

Африканський континент багатий на великі осадові басейни, пов'язані до структур термічно ініційованих рифтів (рис. 1, 2). Седиментація у таких басейнах зазвичай континентальна: річкова мережа живить великі мілководні безстічні басейни. Характерною рисою таких басейнів як озерна западина Чад, що має площу 600 тис км<sup>2</sup> і товщину мезозо-кайнозойських осадів 2 км, є великі коливання акваторії, обумовлені кліматичними змінами. Наприклад, розмір акваторії озера Чад змінювався від 10 тис до 25 тис км<sup>2</sup> за останні 100 років і перевищував щонайменше 300 тис км<sup>2</sup> в останні 10 тис років. При швидкостях седиментації близько 2 см/тис років у розрізі ОБ утворюються часті фаціальні зміни через інтенсивну горизонтальну міграцію поясів осадових фацій.

Як стародавні (Мічиган), так і сучасні внутрішньо-плитні басейни синекліз (Гудзонова затока) часто мають морську седиментацію. Палеозойський басейн Мічиган, швидкість седиментації в якому була близькою до басейну Чад, заповнений здебільше морськими осадами.



**Рисунок 1. Осадові басейни Західної Африки.** 1- синеклізи овальних обрисів (Чад, Борну), розвинуті на континентальній корі, 2) крейдовий трог Бенуе (авлакоген), 3) пізньокайнозойська дельта ріки Нігер. Пунктир - поверхні нижче за сучасний рівень моря.



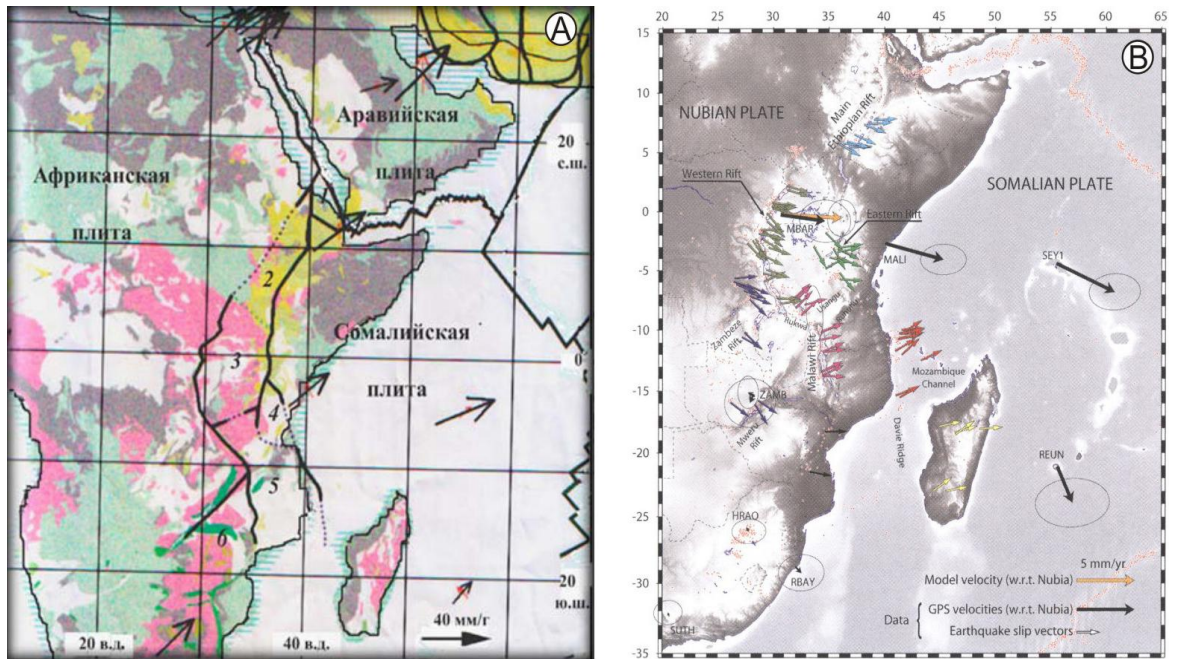
**Рисунок 2. Западина Чад.** Кордони: крапки - сучасного озера Чад, пунктир - палео-озера Мегачад (10 тис років тому) та області його живлення, штриховка - вишини.

Серед протерозойських басейнів виділяється тип ОБ, тектонічна позиція і закладання якого не пов'язане ні з континентальними околицями, ні з гірсько-складчастими спорудами - це басейни Вітватерсранд в Південній Африці, група Катанга в Замбії і Заїрі, Атабаска в Канаді, Алігейтор-Рівер в Північній Австралії і Аравалі в Індії. Осадкові товщі залягають у них з різкою кутовою неузгодженістю на складчастому кристалічному фундаменті. Породи здебільше теригенні, континентальні, проте карбонатів багато в Катанзі (Заїр) і Аравалі, а вулканічні породи поширені у верхній частині розрізу Вітватерсранда. Можливо, частина цих басейнів формувалася як *задугові басейни стиснення*, розташовані усередині континентів, подібно до верхньомезозойських басейнів всередині Північноатлантичного мобільного поясу на східному схилі Скелястих гір.

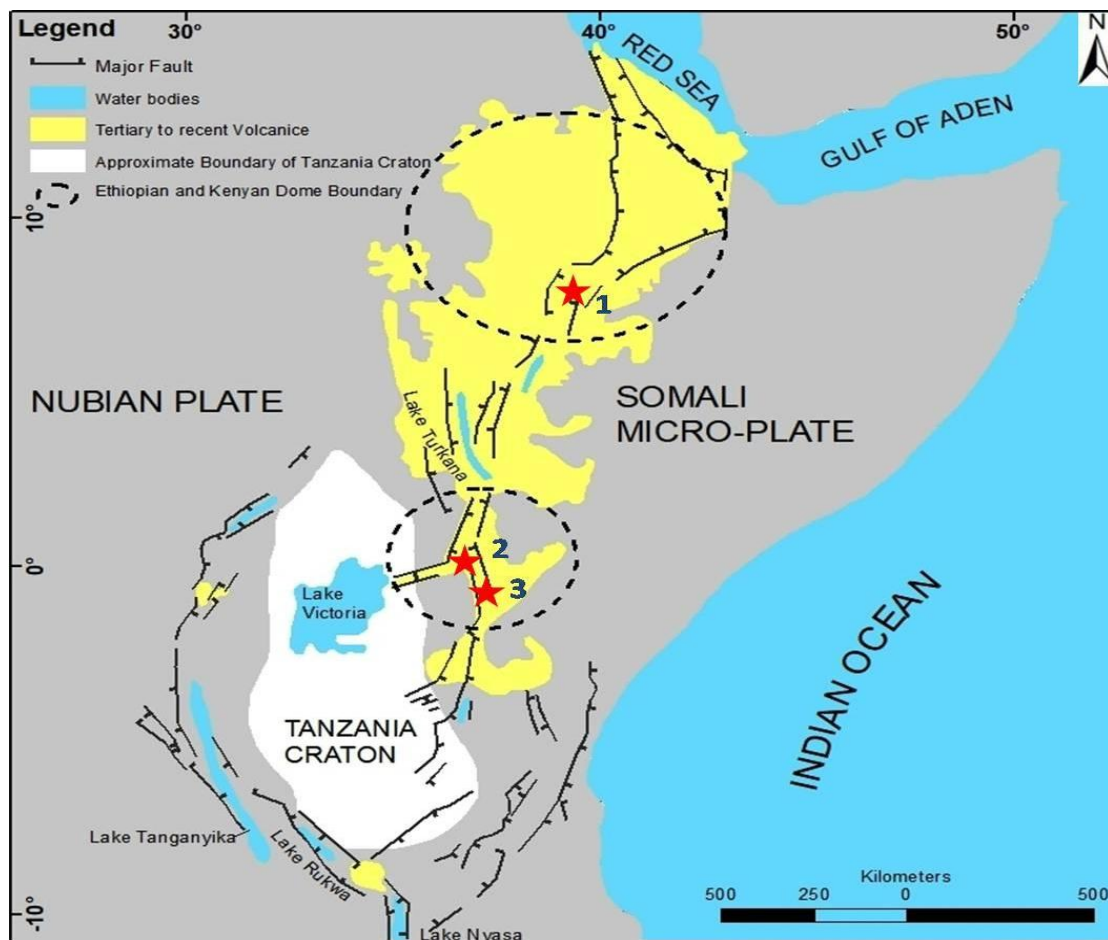
**2.2. Термічно ініційовані рифти, рифти обвалення і авлакогени.** Термічно ініційовані рифти розділяються на: 1- *симетричні грабени* та 2- *асиметричні напівграбени*. Серед них виділяють океанічні рифти, що розділяють континенти океанічною корою, та авлакогени – континентальні рифти, що не відбулися як океанічні.

### **1. Симетричні рифтові грабени.**

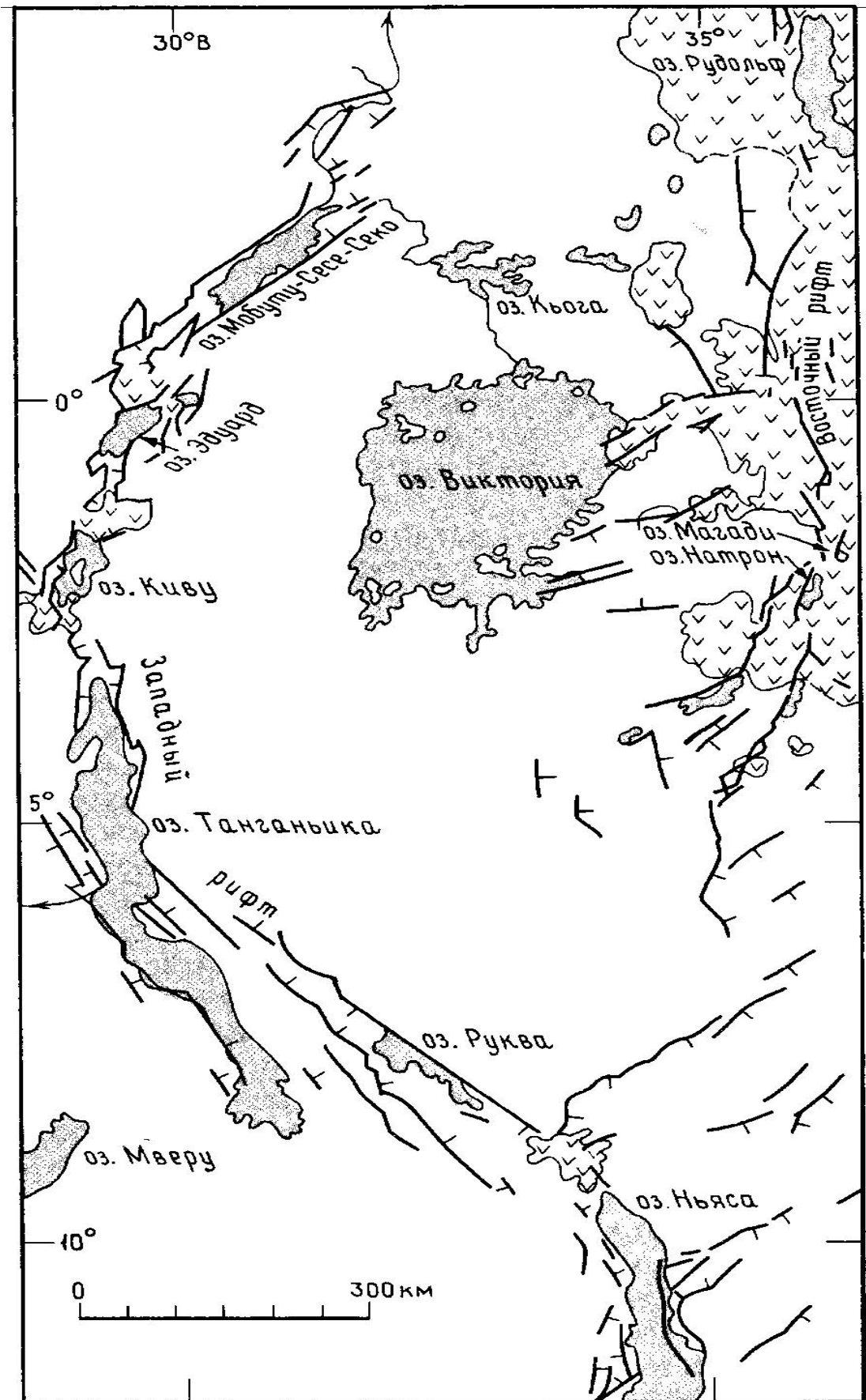
Східноафриканські кайнозойські рифти утворюють найбільший внутрішньо-континентальний рифтовий пояс планети (рис. 3) довжиною близько 3000 км при ширині 40-50 км, його плечі-уступи здіймаються до 2 км над оточуючими плато. Рифтовий пояс за простяганням розбитий на сегменти поперечними розломами–трансформами (горизонтальними зсувами), які зміщують у плані вісь рифта. Пояс ускладнений вулканами і горстами фундаменту, наприклад, горст Рувензори, що здіймаються майже на 4 км на тлі плато. Оскільки крайові гори є найвищими елементами рельєфу, а осади виносяться з грабена, то занурення рифтових западин не компенсоване осадами. Рифтові осади складені уламковим матеріалом, який зноситься з прилеглих уступів і піднятих блоків всередині рифту, а також алювіальними відкладами річок, що протікають уздовж рифту, та відкладами озер, як прісних, так і солоних. Тектонічна позиція озер по відношенню до рифтів визначається крайовими розломами рифтів і вулканами, наприклад, озеро Вікторія заповнює широку і неглибоку западину між двома рифтами. Ріки зазвичай протікають рифтовими долинами, тому теригенна седиментація в озерних басейнах не компенсується уламковим матеріалом і переважає біохемогенна седиментація. Більшість озер прісноводні (солоність до 5%), деякі лужно-солоні (Магаді, Натрон), хімізм яких визначається складом поблизу розташованих вулканітів і карбонатів (рис.4). Глибини озер коливаються від 100 м (Мобуту-Сесе-Секо і Рудольф) до 1400 м (Танганьика і Ківу).



**Рисунок 3. А – схема блокової будови літосфери Східної Африки між Африканською та Сомалійською літосферними плитами. Кордони плит і блоків та вектори (стрілки) горизонтальних переміщень блоків: 1 – Данакіль, 2 – ЗахідноЕфіопський, 3 – Вікторія, 4 – Додому, 5 – Зомбарувума, 6 – ПівденноАфриканський; В – сучасна кінематика СхідноАфриканського рифту: GPS швидкості (стрілки, по відношенню до Нубії)**



**Рисунок 4. Східно-Африканська рифтова система. Рифтовий скидний каркас, вулканічні поля та геотермальні станції (1- Aluto Langanoo, 2- Menengai, 3- Olkaria)**



**Риунок 5. Літосферний блок Вікторія (Танзанійський кратон). Вулканічні поля, озерні улоговини і скидовий рифтовий каркас**

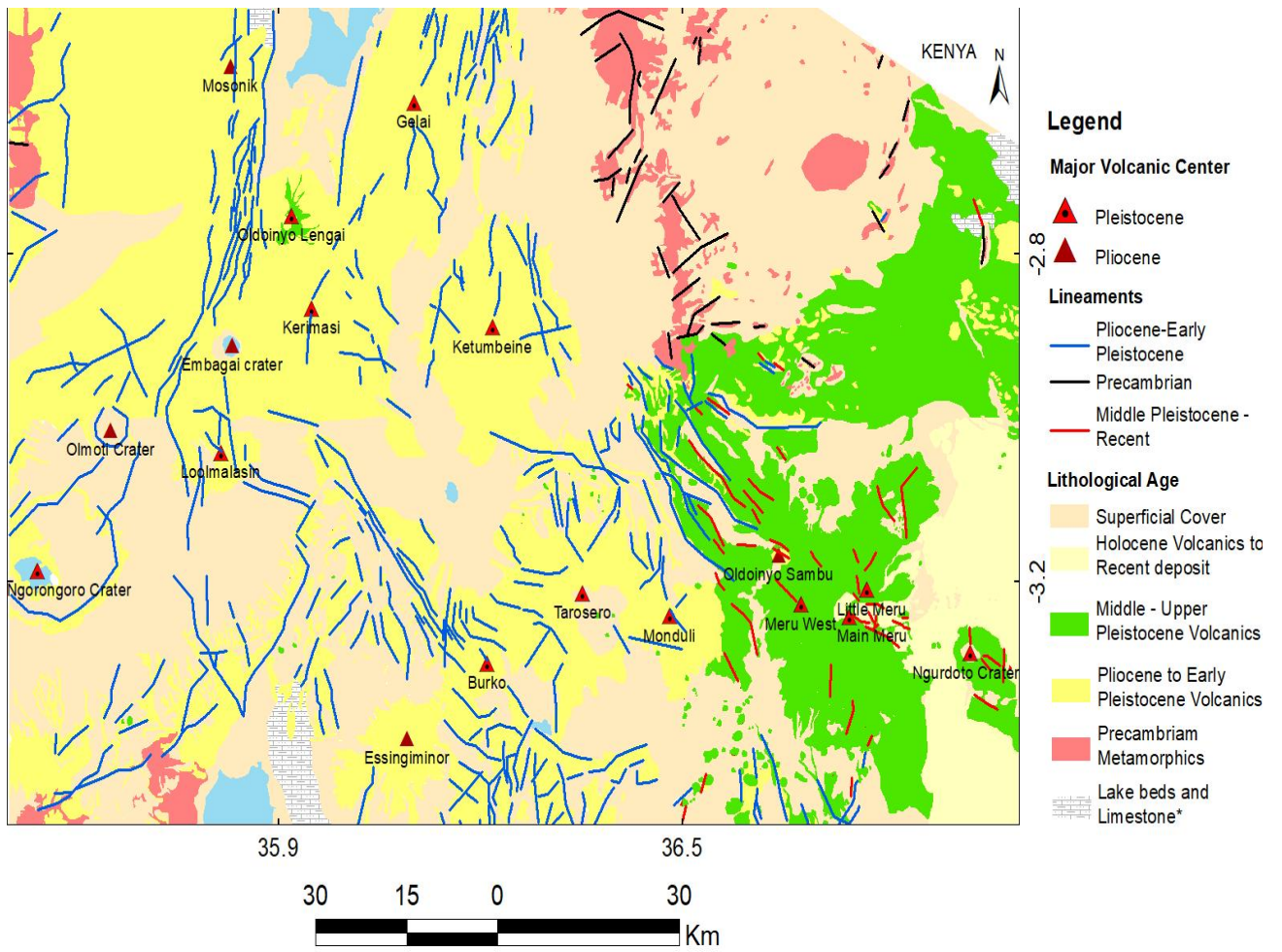


Рисунок 6. Танзанійський кратон. Геологічна карта

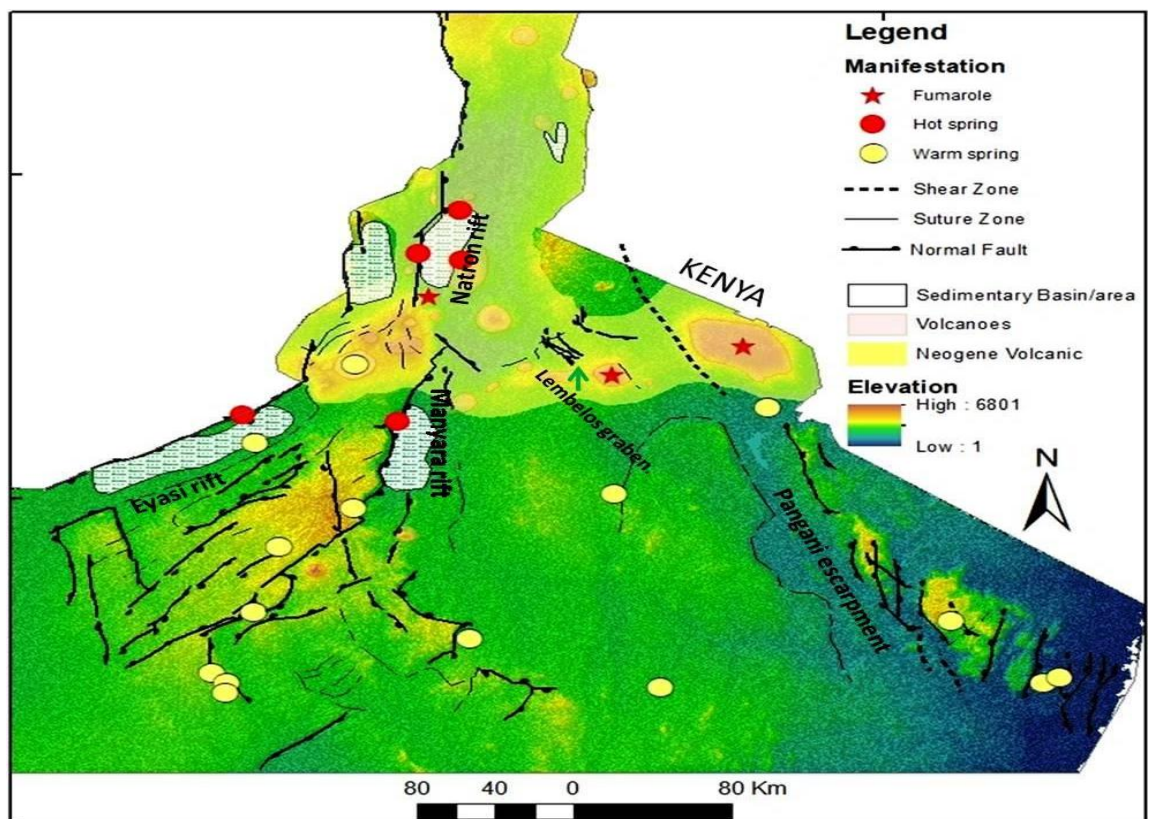


Рисунок 7. Танзанійський кратон. Геотермальна активність, Мвт

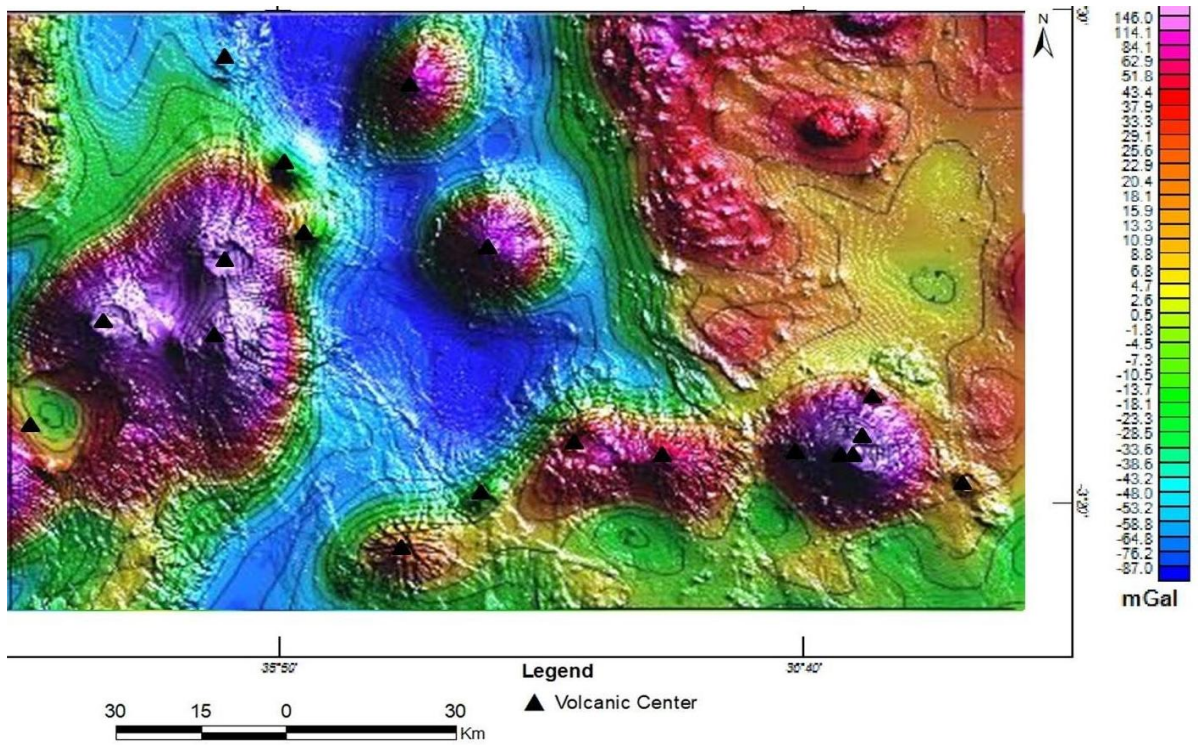


Рисунок 8. Танзанійський кратон. Вулканічні центри серед рифтових западин в аномальному гравітаційному полі (в редукції Буге)

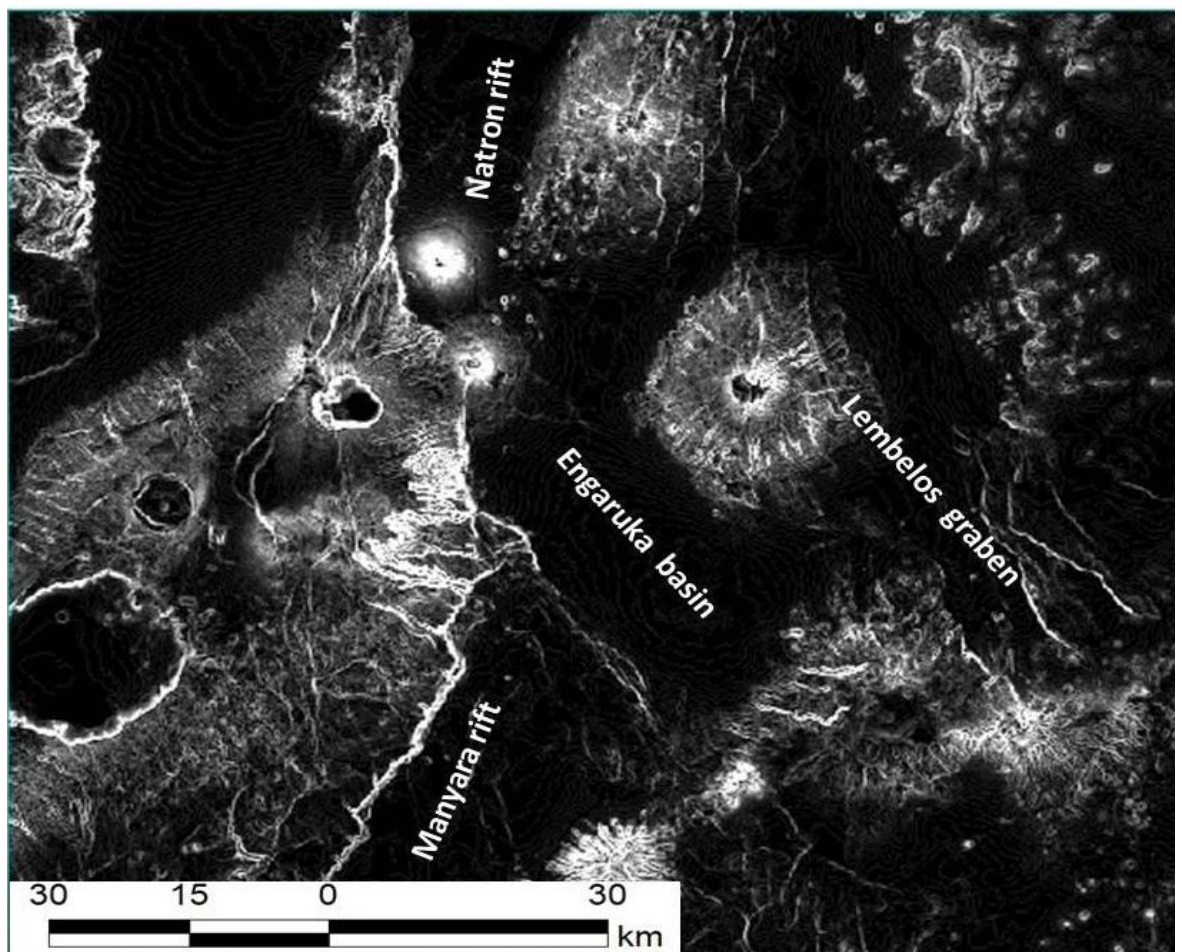
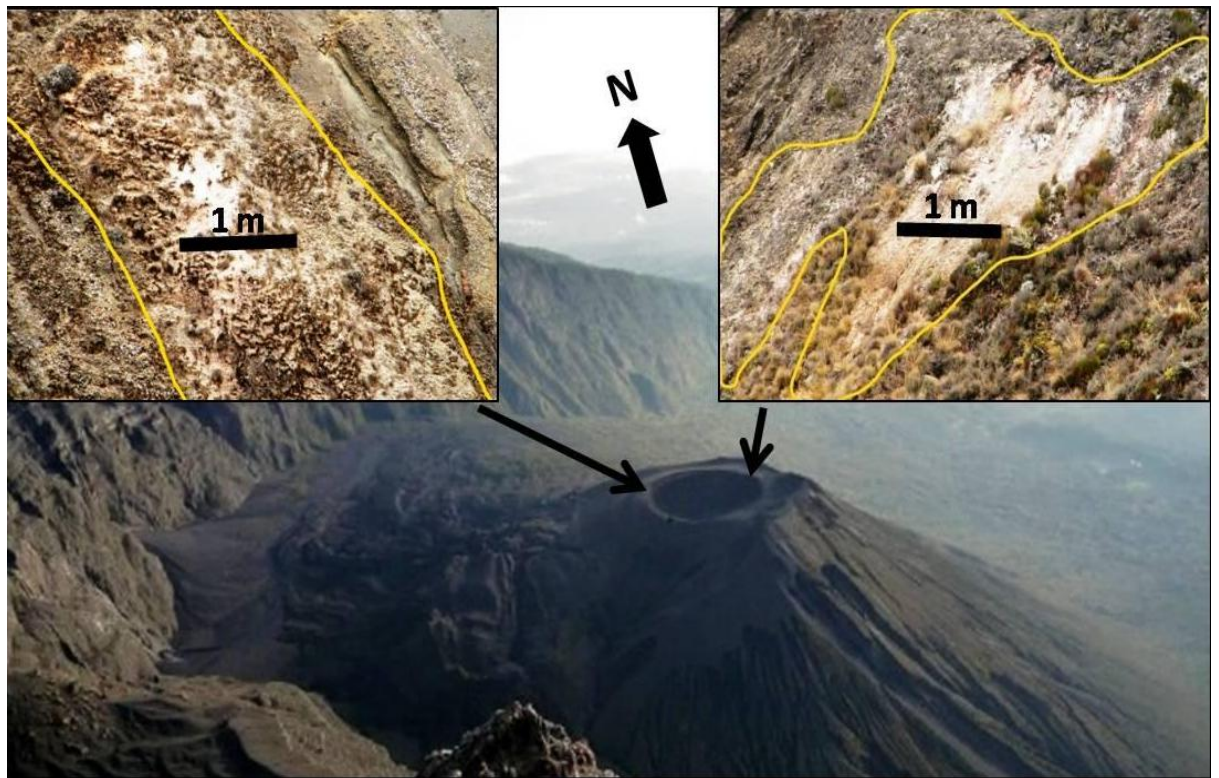


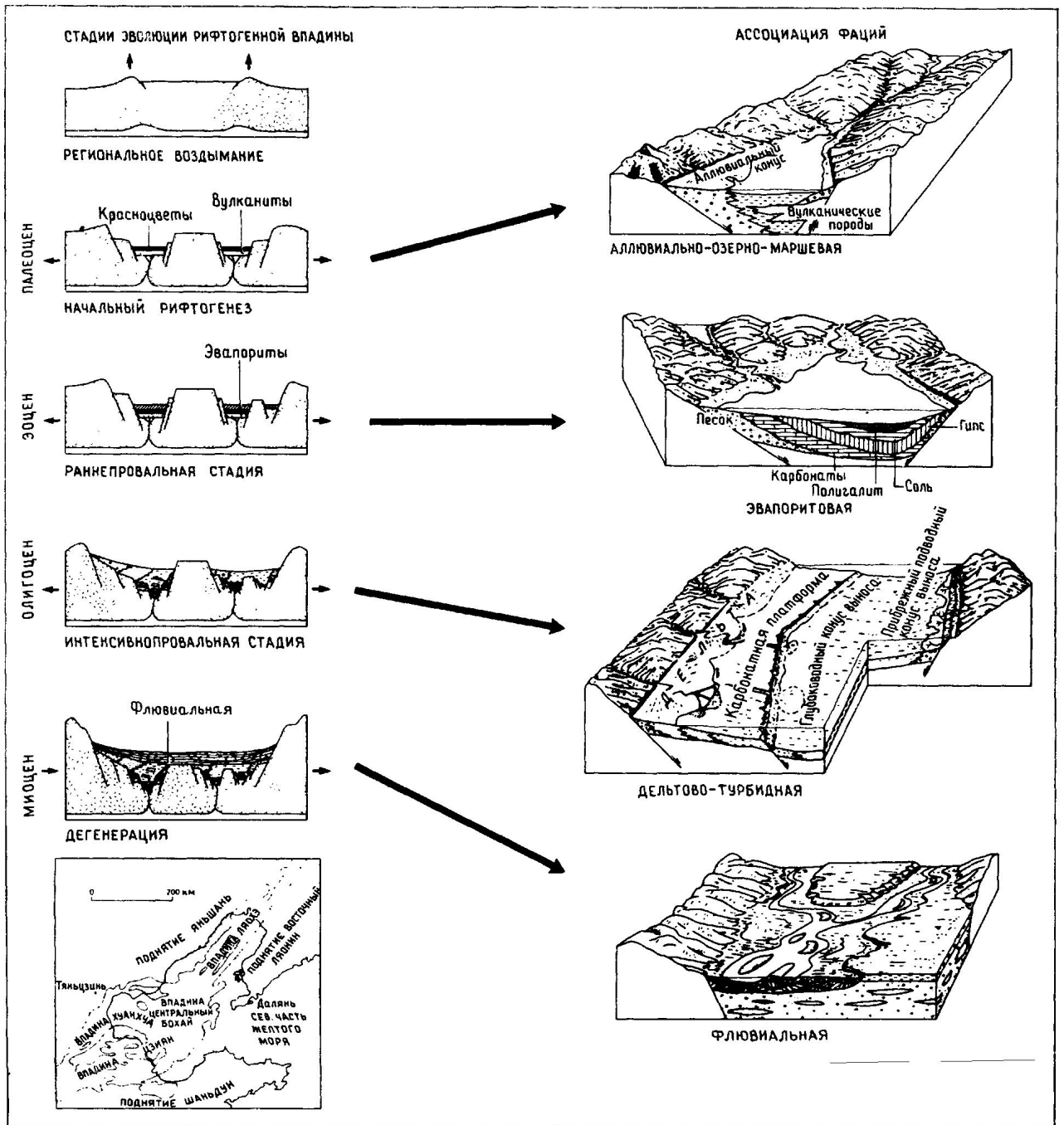
Рисунок 9. Танзанійський кратон. Вулканічні центри і лінеamenti серед рифтових грабенів на карті кутів нахилу рельєфу денної поверхні





**Рисунок 10. Танзанійський кратон. Кратер вулкана Меру.** Структури інверсійного обвалення (просідання) всередині вулканічного конусу

У Північно-східному Китаї великі рифтові грабени закладалися на стоншеній континентальній корі в кайнозої (рис. 11). Низки западин простягаються з північного сходу на південний захід. При цьому, рифтові пояси, які вони утворюють, по поверхні Мохо розходяться радіально від найвищого виступу мантії в районі Центральний Бохай, утворюючи потрійне зчленування. Западини заповнені товщею до 7 км кайнозойських осадово-вулканічних порід. Максимальні прогинання кори і товщини осадів пов'язані до районів, де мантія піднята найбільш високо. Найбільші западини до 100 км завширшки простягаються на кілька сотень кілометрів в довжину. Палеогенові рифтогенні басейни контролюються крайовими коромантійними скидами і перекриваються більш розлогими накладеними неогеновими синеклізами. Високий тепловий потік на тлі відносно швидкого накопичення 2 км осадової товщі щільних, непроникних аргілітів у якості надійних порід-флюїдоупорів, та алевро-піщаних відкладів річкових дельт, глибоководних конусів виносу і морських карбонатів у якості порід-колекторів, а також формування у розрізі стратиграфічних перерв і наявність структур-пасток створюють у палеозападинах рифтогенного поясу Бохай сприятливі умови для нафтогазонакопичення. У формуванні рифтогенних синекліз Північно-Східного Китаю виділяють п'ять стадій розвитку (рис.11). Протягом *дорифтової стадії* на тлі загального регіонального підйому на їх місці відбувалося формування купольних структур ті їх наступна денудація.



**Рисунок 11. Модели тектонічної та седиментаційної еволюції палеогенових рифтових грабенів Північно-Східного Китаю (регіон Бохай).**

На стадії *початкового рифтогенезу* на тлі регіонального розтягнення земної кори в склепіннях куполів утворилися провалля. На цих вихідних структурах сформувалася низка трогових, а згодом грабенових улоговин. Осадів рифтові басейни зазвичай асиметричні, з вулканізмом основного складу: від переважаючих лужних базальтів на початках рифтогенезу – до типової океанічної формації толеїтових базальтів. Клімат був аридним, континентальним, басейни не мали зв'язку з морем, тому западини заповнювалися теригенними червонобарвними уламковими породами, перешарованими з базальтами.

Протягом *стадії повільного прогинання* постачання теригенних осадів у басейн припинялося і домінувала біо-хемогенна седиментація. Часом в басейн потрапляли морські води, тоді формувався складний комплекс хемогенів, що включає морські і озерні вапняки і евапорити (фація Плай).

На *стадії швидкого занурення* відбувалося розширення площі западин. На тлі наступного підйому, через денудацію плечей рифтогенних басейнів, басейн заповнювався незрілими теригенними осадовими товщами. Зі змінною клімату на гумідний формувалися річкові дельти і підводні конуси виносу уламкових порід у морський басейн, до яких пов'язані алювіальні конуси, флювіальні і літоральні піщані бари і банки, органогенні рифи і оолітові банки, глибоководні мулові глинисті товщі, збагачені органічною речовиною. На протилежних схилах асиметричних рифтових западин накопичувалися різні фації: на крутих піднятих плечах не відкладалися осади платформ, алювіальних рівнин і дельт, властиві низинним узбережжям.

Наприкінці палеогену, на *стадії прогинання*, усю територію охопила флювіальна і лагунна седиментація, теригенна товща неогену лежить незгідно на палеогенових породах і перекриває вишини палеорельєфу.

## **2. Рифтові напівграбени.**

Частина внутрішньоконтинентальних рифтових систем згодом розпалася на окремі напівграбени через спредінг океанічного дна, що розпочався у серединно-океанічних хребтах. Типовими прикладами особливостей седиментації в їх межах є накопичення осадових товщ тріасу (Північна Америка, США), нижнього мезозою (Альпи) і до-пліоценових відкладів (південні околиці Червоного моря). На сході США тріасові континентальні червонокольорові товщі з включеннями вулканітів накопичувалися у смугі шириною до 300 км. Через наступне регіональне прогинання утворився морський басейн з карбонатної седиментацією.

В Альпійсько-Середземноморському складчастому поясі пермо-тріасові товщі, включно флювіальні червонокольорові породи, евапорити, мілководно-морські уламкові породи і фації карбонатних платформ накопичувалися у підвалинах внутрішньоконтинентальних рифтових басейнів до рифтової стадії з утворенням океанської кори. Після тріасу через загальне прогинання регіон став ареною морської седиментації.

## **3. Рифти, що не відбулися як океанічні (авлакогени).**

Авлакогени структурно пов'язані переважно до глибоких трогів та грабенів тривалого розвитку, що простягаються від внутрішніх областей континентів до їх околиць із зануренням до океану. Авлакогени являють собою відмерлі промені вихідних потрійно зчленованих рифтових систем.

Околично-континентальним авлакогеном є трог Бенуе, розташований на західній околиці Африки, що простягається вглиб платформи на північний схід від Гвінейської затоки на 1000 км при ширині 100 км. Крейдяний палеорифт на початку закладання з'єднувався з двома іншими рифтами-променями, які згодом увійшли до складу Серединно-Атлантичного хребта. Трог заповнений флювіальними, дельтовими і морськими товщами загальною потужністю понад 5 км (рис. 12). У напрямку до океану рифтогенний комплекс крейдового авлакогена перекривається неогеновою дельтою, що складається з флювіальних дельтових осадів і підводних конусів виносу товщиною 12 км. Протягом платформної фази тектонічної активізації у сантоні кутовим неузгодженням з розмивом розділилися крейдяний рифтогенний і неогеновий синеклізний комплекси. У рифтовому структурному поверсі сформувалася лінійна складчастість, що простягається паралельно до вісі авлакогена. Її денудована поверхня перекрита понад 2 км товщею морських відкладів неогенової дельти ріки Нігер.

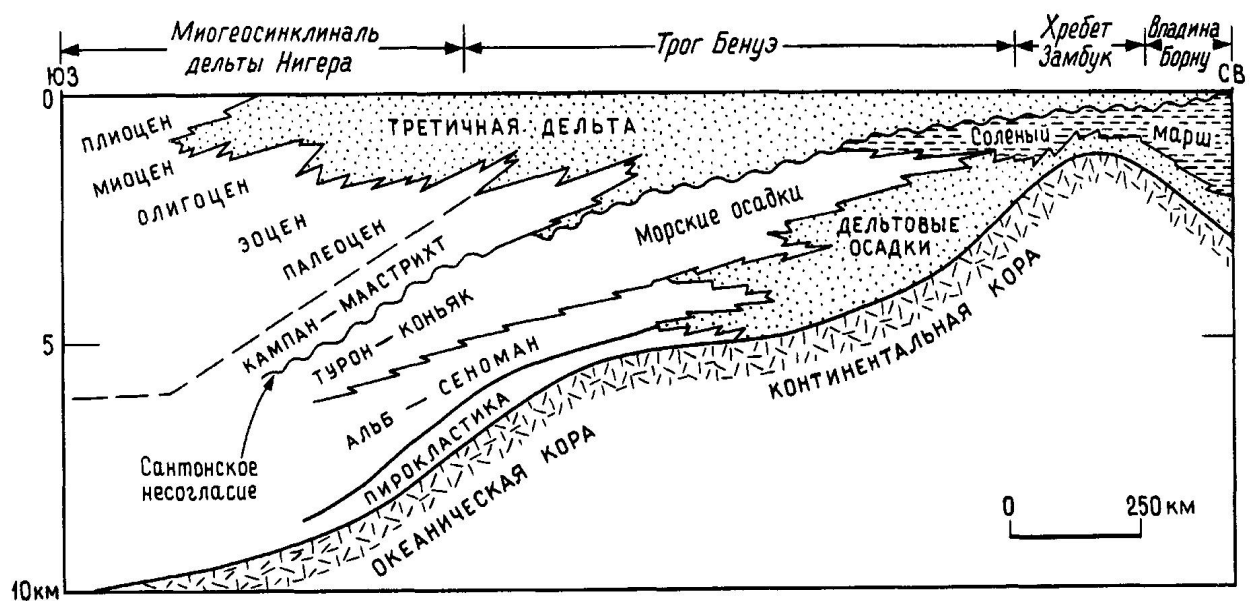


Рисунок 12. Розріз крейдяного авлакогена трого Бенуе і неогенової дельти Нігер

Авлакогенами є також докембрійські і палеозойські внутрішньо-континентальні палеорифти, що не відбулися, або грабени, що обмежені з одного боку мобільним складчастим поясом. Ці глибокі палеобасейни пов'язані до трогових і грабенових улоговин, заповнених потужними рифтогенними товщами і простягаються на стародавніх платформах під великим кутом до прилеглого складчастого поясу, або до раніше існуючої континентальної околиці палео-океану. Еволюція авлакогенів поділяється на три стадії: 1- дорифтова стадія з термічним впливом мантіяного плюму і утворенням купольної структури; 2- рифтова стадія з розтягненням земної

кори і пасивним прогинанням з утворенням трого або грабена; 3- стадія тектонічної інверсії з підйомом території і деформацією рфтогенної структури.

У палеозойському авлакогені Уошито (Південна Оклахома, США), на рифтовій стадії геологічного розвитку відбувалася еффузивна і інтрузивна діяльність бімодального типу з кислим і основним складом магми. Занурення континентальної платформи Мідконтиненту було швидким, тому у рифтовому басейні накопичувалися теригенні, грубоуламкові осадові товщі. Стадії занурення було притаманне повільне накопичення в авлакогені фацій шельфових карбонатів і кварцитів, пізніше турбидитів та олістостромів, більш потужних і глибоководних за фації на прилеглий ділянці платформи. Стадії деформації (тектонічної інверсії) властиві формування пластин насунутих тектонічних покривів і складкоутворення в обстановці колізійного стиснення. Тоді товщі теригенних грубоуламкових порід (1-3 км) зносилися з локальних підняттяв і накопичувалися в осьових зонах всередині басейна авлакогену. Аналогічної тектонічної і седиментаційної еволюції зазнав осадовий басейн Дніпровсько-Донецького авлакогена (рис. 13).

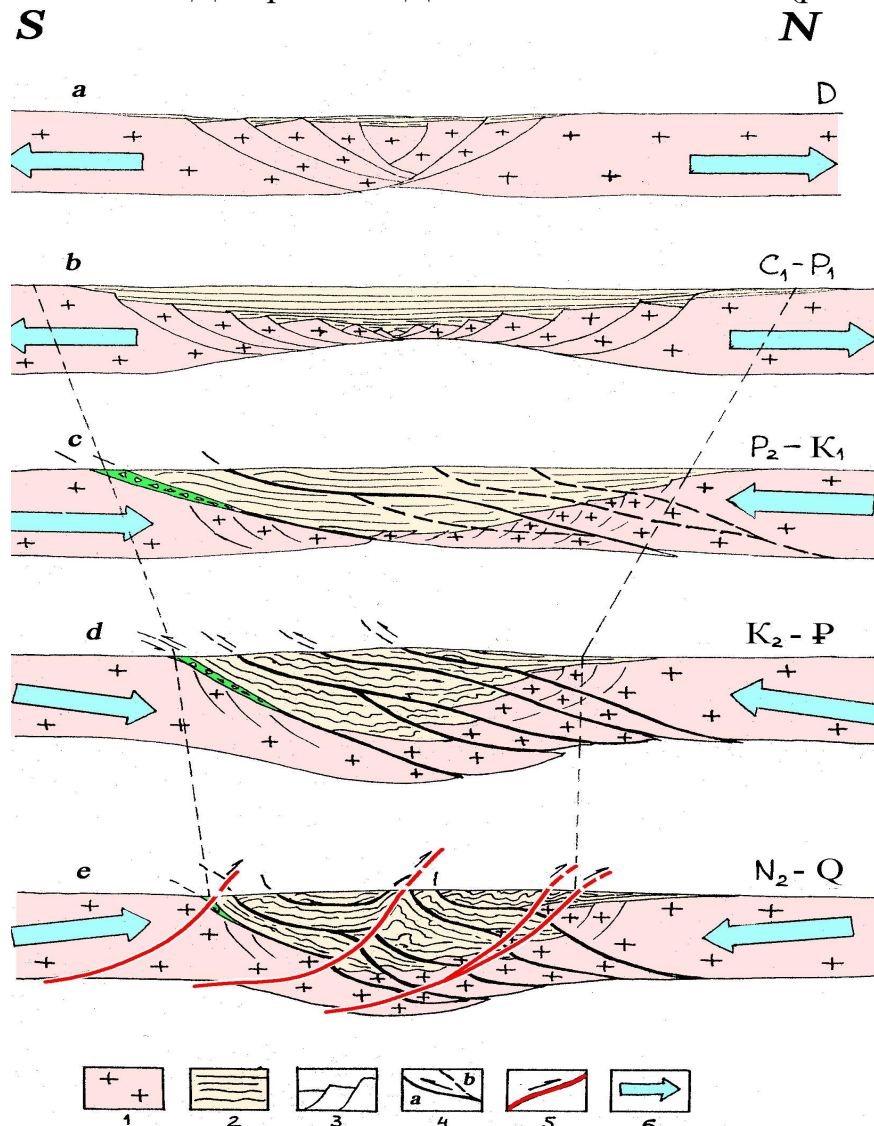


Рисунок 13. Схема еволюції Дніпровсько-Донецького палеозойського авлакогена

Структурна еволюція Дніпровсько-Донецького палеозойського авлакогена налічує декілька визначних етапів, у відповідності до геодинамічних обстановок і тектонічних режимів деформацій, що поступово змінювалися на теренах Східноєвропейської платформи:

1 - ранньорифейський епізод «атермального» (пасивного) типу рифтогенезу з розколюванням «холодної» континентальної кори докембрійською кратонного ядра платформи у режимі загально-плитної колізії через зсування блоків уздовж лінійної зародкової зони сколювання з утворенням низки ешелонованих трогових улоговин за кінематичним механізмом Pull-apart basin (на схемі не показаний);

2 (а) – девонський епіконтинентальний рифтогенез «термального» (активного) типу в геодинамічній обстановці загально-плитного розсування кори на купольних структурах під термальним впливом мантийного плюму з формуванням низки грабенів, що об'єдналися у складі Прип'ятсько-Дніпровсько-Донецького рифтового поясу, з формуванням океанської кори лише у межах «мантийного вікна» на південно-східному зануренні поясу;

3 (b) - кам'яновугільно-пермський етап помірного платформного прогинання з морською седиментацією, подекуди в аридних умовах, з формуванням більш розлогого синеклізного басейну;

4 (с, d) – герцинсько - ранньо-кімерійська платформна активізація в обстановці колізійного стресу з півночі на тлі загально-плитного прогинання синеклізного осадового басейну з формуванням лінійних складчастих зон, у тому числі за активної участі соляної тектоніки;

5 (е) – пізньо-кімерійсько - альпійський (ларамійська та аттична фази) платформний тектогенез в обстановці інтерференції загально-плитної *субмеридіональної* колізії і регіонального горизонтально-зсувного поля з підйомом території, осушенням басейнів і формуванням у структурі палеорифтового поясу інверсованих областей - Західно-Донецької покривно-складчастої області і Донецької складчастої споруди у Донецькому сегменті.

У південній Норвегії товща протерозойських граувакк, глинистих сланців, аркозових пісковиків, карбонатів і конгломератів товщиною 1,5-3 км заповнює підвалини авлакогену, пов'язаного з розкриттям «прото-Атлантичного» океану Япетус. Його палеотектонічна позиція подібна до юрських палеорифтів Північного моря. На рифтовій стадії вузька трогова улоговина заповнювалася пісковиками і конгломератами, що відкладалися на бортах в алювіальних конусах. Всередині басейну накопичувалися товщі аллювія, підводних фенових дельт і турбідитів. Теригенна седиментація перервалася через обміління глибокого трогового басейну, тоді відкладалися мілководно-морські карбонати і кварцити припливно-відливних рівнин і

виливалися тріщинні лужні базальти. Друга зміна режиму седиментації сталася через пізньо-протерозойське заледеніння, коли накопичилися тилліти фації Моєль з наземних і морських льодовиків. Протягом повільного прогинання у кембрії на площі тривала морська седиментація через трансгресію епіконтинентальних морів на пенепленизований суходіл кратону.

На півночі частині Північного моря (рис. 14, 15) у юрі сформувався центральний купол, на якому утворилася точка потрійного променевого сполучення грабенів. Рифтогенні басейни заповнювалися дельтовими пісками, у яких згодом сформувалися головні природні резервуари нафтового родовища Brent на схід від Шетландських островів (рис. 16, 17). Седиментація у меншого розміру дельтах і підводних конусах (фенах) тривала включно пізню юру. У ранній крейді–неогені відбувалося загальне прогинання з накопиченням верхньокрейдяної товщі писальної крейди. Вона пере-відкладалася у підводних фенах в розлогих синеклізних палеоценових басейнах, що утворилися над вузькими троговими улоговинами (рис. 18).

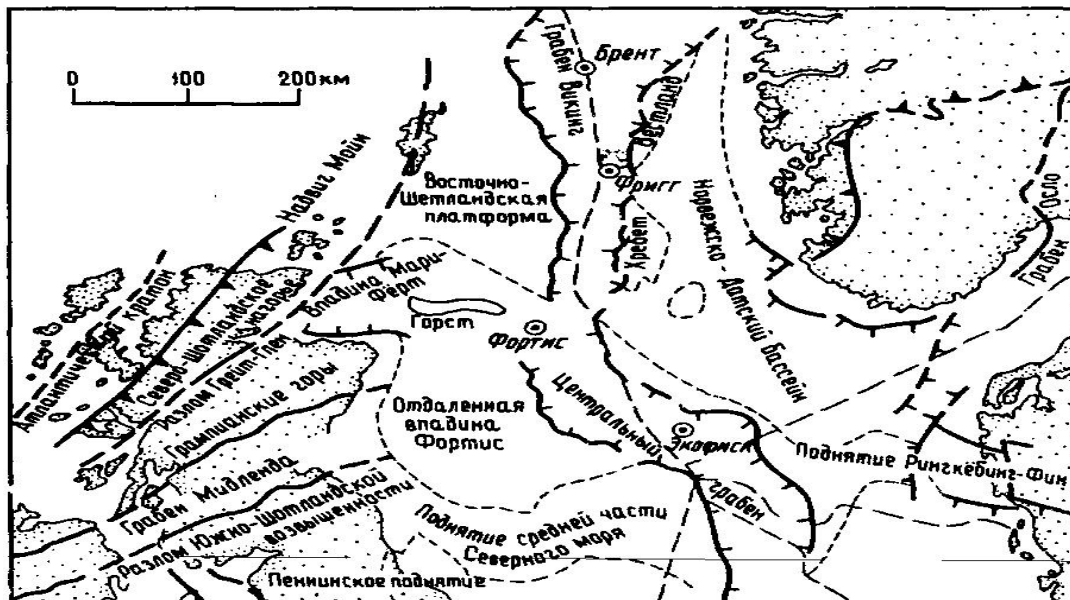


Рисунок 14. Ріфтогенні осадові басейни у північній частині Північного моря.

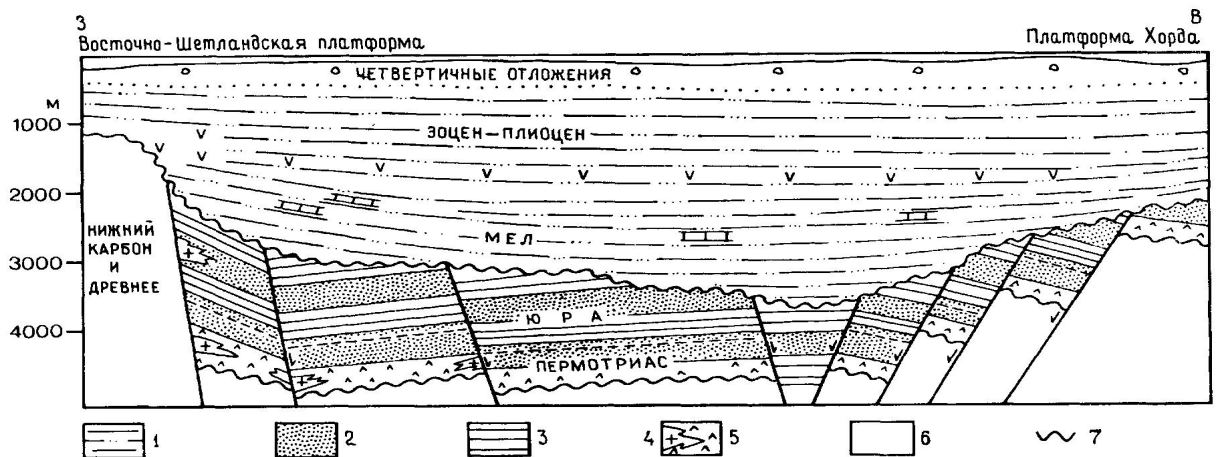


Рисунок 15. Розріз грабена Вікінг, Північне море. Довжина розрізу 250 км: 1 – алевроліт; 2 – пісковик; 3 – аргіліт; 4 – ангідрит; 5 – галіт; 6 – вулканіти; 7 – незгідність.

Північна частина грабена Вікінг розвивалася як авлакоген від фази розходження континентів з розкриттям Атлантики. Ранньо-тріасовий грабен розвивався з розтягненням фундаменту на 75 км на середньоюрсько-ранньокрейдівій стадії початкового прогинання. Вулканіти в Центральному грабені (ЦГ) розвинуті в районі зчленування трьох радіально зчленованих трогових западин: Марі-Фьорт (ГМФ), грабен Вікінг (ГВ) (рис. 16).

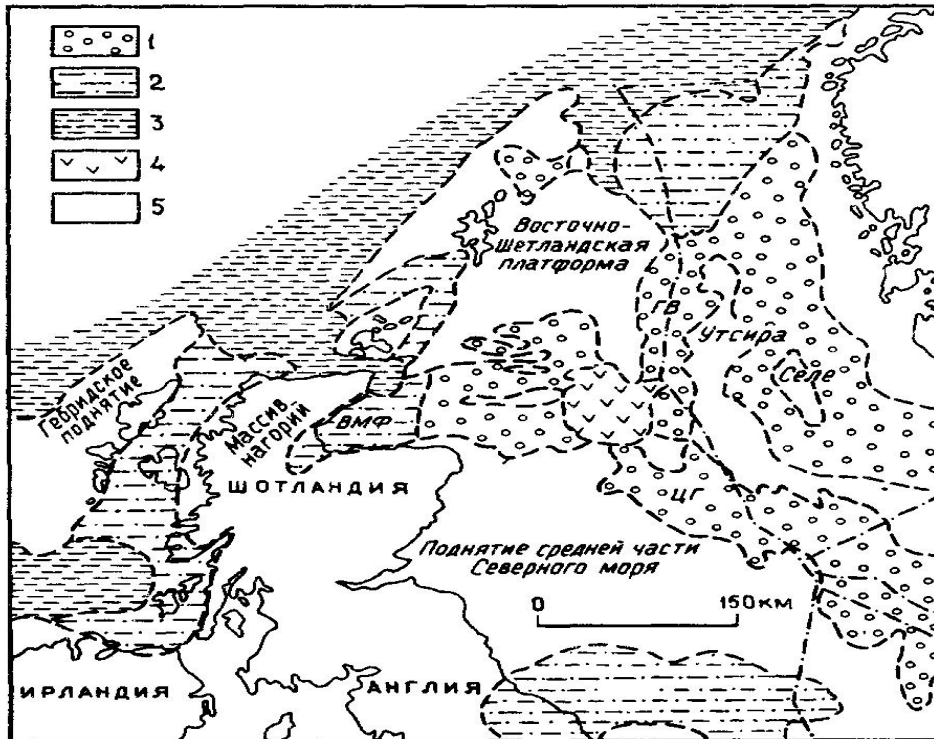


Рисунок 16. Палеогеографія Північного моря у середній юрі. 1 – континентальні уламкові породи; 2 – паралічно-дельтові фації; 3 – мілководно-морські фації; 4 – рифтогенні вулканіти; 5 – суходіл, область розмиву.

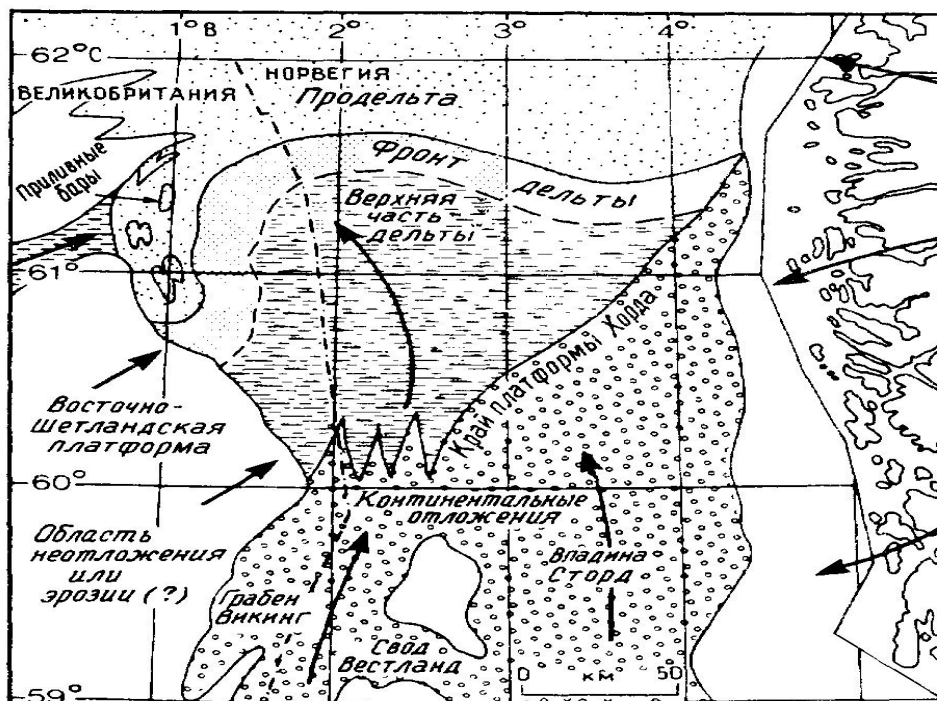
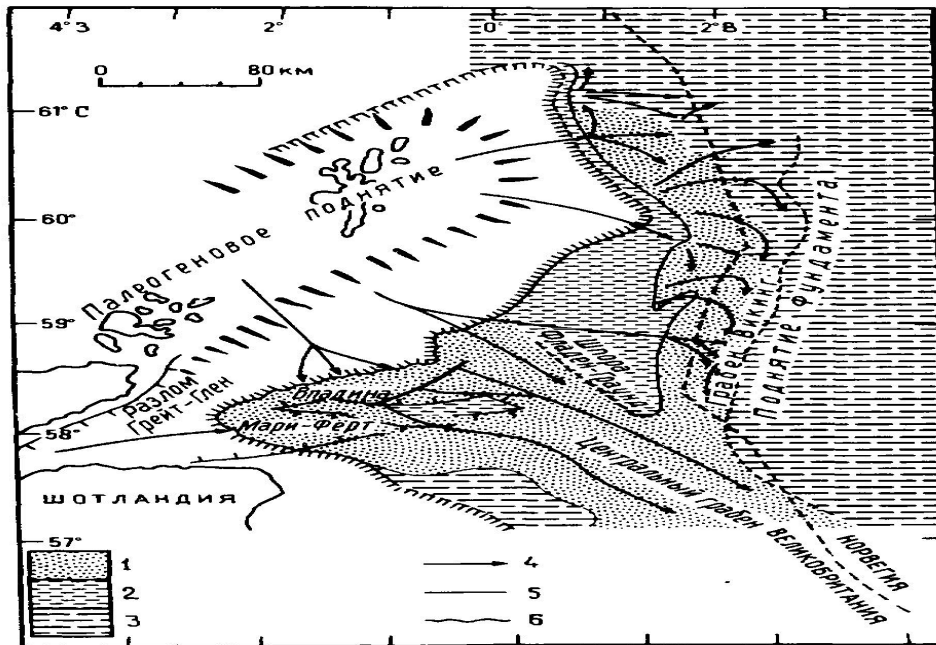


Рисунок 17. Палеогеографія середньо-юрської дельти на півночі Північного моря





**Рисунок 18. Палеогеографія палеоценової формації Монтроз.** 1 – піщані фації, 2 – шельфові алевроліти відкладів каналів; 3 – шельфові і околично-басейнові аргіліти; 4 – напрям знесення осадів; 5 – ерозійна поверхня формації; 6 – межа формації Монтроз.

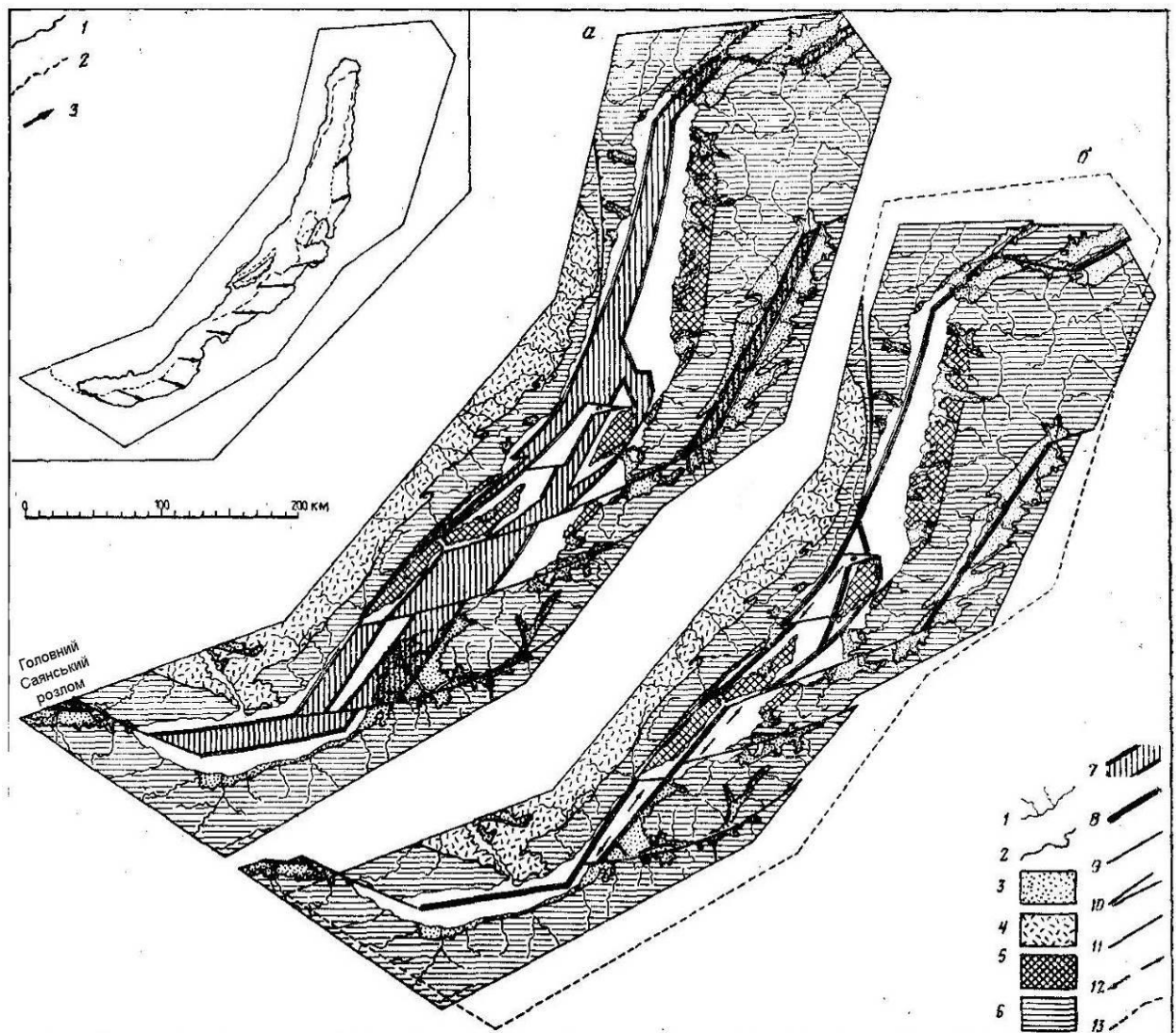
Рифтогенез здійснювався через крихкий розрив з розсуванням холодної кори, стоншенням пластичної літосфери і підйомом гарячої астеносфери. У пізній крейді-неогені охолодження літосфери зумовило термічне занурення басейну, при цьому морська седиментація відбувалася в межах розлогої синеклізи, існуючої досі. Пісковики у підводні фени грабенів Вікінг (600-800 м), Центральний, Мері-Фьорт (500-600 м) надходять з західних підняттяв.

### 1.3. Рифти, пов'язані з колізією

Колізійні рифти, як і авлакогени, з'єднуються зі складчастими поясами під великими кутами, проте вони закладаються через розколювання холодної континентальної кори без термічного впливу мантиї і утворенням підняття до стадії закриття океану і пов'язаного з нею колізії з гороутворенням.

Верхньореїнський грабен простягається на північ від гір Юра упоперек форланда гірської системи Альп. Він сформувався в середньому еоцені-міоцені після головної поздньокрейдової колізії в Альпах. На початковій стадії закладення відкладалися середньо-еоценові конгломерати і вторгалися основні вулканіти, перекриті верхньо-еоценовими прісноводними мергелями товщиною до 900 м. Потім відбувалася седиментація в морських з перервами у континентальних умовах через підйомом території в ранньому олігоцені. Вулканізм відновився в ранньому міоцені, тоді розтягнення кори змінилося лівобічним зсуванням в пліоцені. Товщина неогенових відкладів понад 5 км. Закладення Байкальського альпійського рифта на південно-східній околиці Азійської плити обумовлене її колізійним зіткненням з Індостаном. Байкальська рифтова система завдовжки не менша за Східно-Африканську,

складається з лінійних систем між-гірських грабенів і напівграбенів з крутішим західним схилом, наближеним до джерела головних рухів і дислокацій. Дванадцять найбільших улоговин при довжині від 100 до 700 км завширшки всього 15-18 км. Найглибша озеро Байкал глибиною 1700 м, заповнене до 5 км континентальних осадів, складені озерними, болотними і річковими відкладами. Склад вулканітів близький до Східноафриканських, але меншого об'єму. Формування Байкальської рифтової системи контролювали п'ять діагональних систем трансформних розломів (Східно-Саянська, Муйська, Південно-, Поперечно-, та Північно-Байкальська, за якими розсувалася континентальна кора рифтової зони, пересувалися блоки гірських порід та її поздовжня вісь в північно-західному напрямку (рис. 19).



**Рисунок 12. Кінематика формування Байкальського рифта:** а– сучасна ситуація, б– ситуація до розкриття 1– берегова лінія; 2– геологічні межі; 3– пліоцен-антропогенові відклади; 4-6– докайнозойські відклади: 4- чохол Сибірської платформи, 5– Ольхонська серія, 6– докембрійські і нижньопалеозойські серії; 7– розсув у сучасній ситуації; 8– траса майбутнього розсуву; 9– розлом з компонентою стискання; 10– область, яка зникає у ході майбутнього стискання; 11– зсув-трансформ; 12– розтяг, не врахований у розсувах; 13– сучасний контур. На врізці: 1-2– сучасна берегова лінія: 1– після розкриття, 2– до розкриття; 3– траєкторія руху сучасної берегової лінії.

## КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ:

1. Які типи осадових басейнів виділяють у внутрішніх областях континентальних масивів?
2. Які є типи рифтогенних осадових басейнів?
3. Які є типи термічно ініційованих рифтогенних осадових басейнів?
4. Якими є тип, структура і тектонічна позиція Східноафриканських кайнозойських рифтів?
5. Якими є тип, структура і етапи тектонічної еволюції кайнозойських рифтових грабенів у Північно-східному Китаї?
6. Якими є структура, тектонічна позиція і етапи тектонічної еволюції авлакогенів?
7. Якими етапами тривала структурна еволюція Дніпровсько-Донецького палеозойського авлакогена?
8. Якими є тип, структура і кінематика формування Байкальського рифта?