

## ТЕОРЕТИЧНІ ТА ПРИКЛАДНІ АСПЕКТИ ФЛЮЇДОДИНАМІЧНОЇ КОНЦЕПЦІЇ КАТАГЕНЕЗУ

Охарактеризовано основні принципи флюїодинамічної концепції катагенезу, яка обґрунтовує його циклічну природу відповідно до етапності тектонічного режиму, вплив якого на вторинні процеси опосередковано особливостями флюїодинаміки. Аргументовано важливу роль консервації літогенетичних процесів на пасивному підетапі ексфільтраційного катагенезу. Показано принципове значення активного ексфільтраційного режиму в розвитку регіональних накладених процесів, що приводило до виникнення резервуарів вуглеводнів, зокрема й “сланцевих”.

**Ключові слова:** катагенез; флюїодинамічна концепція; породи-колектори; нафтогазоносні басейни.

### *Вступ*

Вивчення катагенезу порід продовжує ґрунтуватися на принципах стадійного аналізу, основи якого заклали класичні наукові праці [Коссовская, Шутов, 1970; Копелиович, 1965]. Рівень змін порід при цьому визначається за ступенем перетворення органічної речовини та мінералів групи глин, які загалом мають односпрямований характер. Необхідність пошуку нових підходів до з'ясування природи катагенезу зумовлена появою низки фактів, які не вкладаються в стандартні схеми. А саме: (1) незбіг стадій трансформації органічної речовини з певним рівнем перетворення глинистих мінералів; (2) наявність прикладів значної різниці стадій трансформації органічної речовини в одновікових гіпсометрично адекватних відкладах у сусідніх свердловинах, а також інверсій катагенетичних показників у розрізі однієї свердловини; (3) відсутність регіональної зональності аутигенного мінералогенезу; (4) виявлення в басейнах літофізичних аномалій (високоємні колектори в зоні глибинного катагенезу).

Усе це ставить під сумнів універсальність традиційних схем і відповідних індикаторів катагенезу. У цьому контексті необхідно зазначити, що: 1) стандартні схеми катагенезу розроблені лише для теригенних формацій; 2) ці схеми враховують лише поступальну компоненту розвитку геологічної системи, що й відображено у відомих визначеннях стадії катагенезу. На сучасному ж рівні геологічних знань басейни породоутворення розглядають як системи еволюційно-пульсаційного розвитку; 3) індикатори катагенезу враховують обмін речовиною на мінеральному та породному рівнях. Застосування цих даних для потужних породних асоціацій не зовсім правомірне з позицій системного літогенетичного аналізу; 4) для того, щоб застосувати певні мінерали-індикатори, треба мати вихідний матеріал: зразок породи. А як у такому разі виконати прогнозування нерозбурених ділянок, не кажучи вже про спорадичність відбору керну?

З метою розв'язання цих проблем розроблено флюїодинамічну концепцію катагенезу [Григорчук, 2004; 2008; 2010], яка інтегрує важливі

фактори післясідиментаційних змін порід: тектонічний режим басейну, динаміку флюїдів, фаціально-генетичні та літологічні параметри.

### *Основні положення*

#### *флюїодинамічної концепції катагенезу*

1. Процеси катагенезу мають циклічну природу, узгоджену з етапністю тектонічного режиму. Вплив останнього на катагенез опосередкований особливостями флюїодинаміки. Цикли катагенезу розпочинаються інфільтраційним або ексфільтраційним пасивним підетапом і завершуються ексфільтраційним активним підетапом. Періодизація катагенезу основана на моделюванні історії занурення відкладів. 2. Фаціальна зональність осадових комплексів зумовлює специфіку прояву різних типів катагенезу. В алювіально-дельтових кластогенних та банко-рифових карбонатних утвореннях периферійних частин басейнів масштабно проявляються інфільтраційні процеси, ексфільтраційні переважають у глинистих та карбонатно-глинистих нашаруваннях депоцентрів. Перехідна зона характеризується складним флюїдним режимом, розвитком літогенетичної тріщинуватості і найінтенсивнішим аутигенним мінералогенезом. 3. Невід'ємною рисою пасивних підетапів ексфільтраційного катагенезу є консервація літогенетичних процесів і акумуляція флюїодинамічної енергії, яка вивільняється на активних підетапах, структурно-речовинними ознаками чого є прояви гідророзриву, зокрема стиліліти. Енергетична релаксація ініціює масштабну міграцію флюїдів, зокрема вуглеводневих, тому ці моменти розглядають як головні нафтогазоакумуляційні стадії. 4. Зазначені типи катагенезу проявляються на різних системних рівнях. Інфільтраційний та пасивний ексфільтраційний – розвиваються в масштабі окремих породно-шарових асоціацій. Активний ексфільтраційний режим реалізується в регіональному плані, залучаючи в єдину флюїдну систему різновікові осадові комплекси, а також породи фундаменту. 5. На ексфільтраційному етапі катагенезу дискретно формуються різнорангові резервуари катагенетичного типу. Останні складаються з ділянок оптимальних колекторів вилуговування, які облямовані екранувальними

зонами мінерального ущільнення. Безпосередній нафтогазопошуковий інтерес становлять резервуари останнього циклу катагенезу. Раніші утворення розглядаємо передусім як “проміжне” джерело, з якого вуглеводні могли емігрувати у близько розташовані структурні, літологічні та комбіновані пастки.

### **Теоретичні аспекти флюїодинамічної концепції**

Як очевидно з вищевикладеного, структурно-речовинні трансформації порід характеризуються дискретною (еволюційно-пульсаційною) природою, а це суперечить традиційним теоретичним схемам [Коссовская, Шутков, 1970; Копелиович, 1965], які розглядають катагенез як тривалу стадію перетворень осадових порід у ході занурення і поступового зростання температури і тиску, практично без урахування впливу порових розчинів.

Отже, об’єктивно необхідна нова дефініція цієї стадії літогенезу. Ураховуючи основні принципи флюїодинамічної концепції, а також беручи до уваги ряд положень, вперше висловлених на 4-й Всеросійській літологічній нараді [Япаскурт, 2006; Дмитриевский, 2006.], пропонуємо таке визначення:

*“Катагенез – це сукупність різнорангових дискретних процесів циклічного розвитку літофлюїдних систем у тісному зв’язку з характером тектонічного режиму осадово-порідного басейну або його окремих ділянок”.*

Розроблена модель катагенезу власне і розкриває механізм розвитку цих літофлюїдних систем, зокрема вперше аргументовано визначальний вплив т. зв. корових хвилеводів на особливості проходження післяседиментаційних процесів.

Флюїодинамічна концепція катагенезу дає можливість науково аргументовано пояснити зазначену вище невідповідність природних об’єктів теоретичним стадійним схемам. Зокрема, це стосується нерівномірності, або т. зв. „асинхронності” катагенезу, яка полягає у порушенні універсальної шкали його градацій [Сиротенко, Сиротенко, 2002]. Це проявляється у наявності катагенетичних інверсій у розрізі деяких надглибоких свердловин, зокрема у Тюменській НГ-6 (північ Західного Сибіру) та Берга-Роджерс-1 (США, басейн Анадарко). Так, в останній спостерігається коливальний характер катагенезу: 4,5 км – МК<sub>3,4</sub>; 5 км – МК<sub>4</sub>; 5,5 км – МК<sub>5</sub>; 6,0 км – МК<sub>4</sub>; 6,5–7,0 км – МК<sub>5</sub>; 7,25 км – АК<sub>1</sub> і т. д. з наявністю “інверсійних вікон” у ряді інтервалів (5,6–6,2 км; 7,2–7,4 км; 8,2–8,4 км) з розкидом значень показників відбиття вітриніту від 0,5 до 3% (МК<sub>1</sub>–АК<sub>1</sub>).

З позицій флюїодинамічної концепції катагенезу зазначене можна пояснити тим, що регіональні зони розуцільнення “проробляють” (охоплюють) лише певні (порівняно вузькі) частини розрізу. У цих ділянках активізуються процеси

трансформації органічної речовини, натомість в інтервалах поза зонами розуцільнення внаслідок консервації літогенетичних процесів її перетворення уповільнюється [Григорчук, 2008; 2010]. Відповідно, у розрізі осадового чохла спостерігається нерівномірний характер змін з глибиною ступеня перетворення органічної речовини (т. зв. катагенетичні інверсії).

За допомогою флюїодинамічної моделі катагенезу можна пояснити деякі принципи (але дискусійні) питання нафтогазової геології.

Зокрема, це стосується проблеми співвідношення швидкості процесів катагенетичних змін органічних і мінеральних компонентів порід та вуглеводненагромадження. Так, наголошується [Лукин, 2000], що у катагенезі – стадії тривалих поступових (повільних) перетворень порід неможливе проходження процесів нафтогазонагромадження, які мають імпульсний (лавинний) характер. Це спричинило необхідність залучення глибинного (мантійного) джерела вуглеводневих флюїдів.

Відповідно до розробленої нами моделі, лавинне нагромадження нафти і газу є закономірним результатом катагенетичних процесів. Так, під час занурення басейнів у зонах розвитку потужних істотно глинистих комплексів унаслідок консервації літогенетичних процесів формуються аномально високі пластові тиски, виникають специфічні за складом флюїди (зокрема вуглеводневі), які акумулюють великий потенціал теплової та пружної енергії.

Необхідне для утворення скупчень вуглеводнів значне за об’ємами та відстанню імпульсне масоперенесення реалізується в періоди інверсійних тектонічних рухів завдяки формуванню регіональних зон розуцільнення. Останні відіграють роль потужних флюїдостягувальних та перерозподільних “насосів”, які стимулюють подальші перетворення органічної речовини та глинистих мінералів. Дискретність цих процесів підтверджують [Япаскурт, 2006] результати визначення віку ряду аутигенних мінералів (кварц, гідролюда, польові шпати, карбонатні мінерали), які показали, що тривалість їхнього формування коливається в діапазоні 2–4 млн. років (миль у геологічній історії).

Обґрунтування ймовірного механізму імпульсного (лавинного) флюїдомасоперенесення на активних підетапах ексфільтраційного катагенезу вирішує одне з проблемних питань нафтогазової геології, зокрема, найвразливіше місце “класичної” парадигми термогравітаційної гіпотези. А саме – слабе обґрунтування процесів міграції вуглеводнів у всіх її проявах: первинна, вторинна, внутрішньорезервуарна. Останнє, як зазначено у [Соловьев, 2010], потребує пояснення і в рамках абіогенної гіпотези, оскільки можливість існування мантійної зони субвертикального розвантаження під кожним з родовищ виключена.

Отже, нафтогазоутворення – це закономірний результат прояву двох підетапів ексфільтрацій-

ного катагенезу: 1) пасивного (занурення); 2) активного (здіймання). На першому з них відбувається акумуляція флюїодинамічної, теплової та пружної енергії, на другому – її вивільнення, міграція флюїдів, зокрема і вуглеводневих, їхнє транспортування в напрямку зон розвитку природних колекторів.

### **Прикладні аспекти флюїодинамічної концепції**

Другий момент торкається характерних особливостей формування порід-колекторів і резервуарів катагенетичного типу [Григорчук, 2010].

Останні, на нашу думку, власне і є основною причиною утворення відомих у різних нафтогазоносних басейнах літофізичних аномалій, коли на фоні поступового зниження з глибиною фільтраційно-емісійних параметрів фіксуються інтервали їхніх підвищених значень. Ці катагенетичні резервуари можуть охоплювати різновікові відклади, а також, за сприятливих умов, утворюватися і у породах, які підстилають осадовий чохол. На наш погляд, ці резервуари являють собою “проміжні” (тимчасові) зони нагромадження флюїдів, зокрема і вуглеводневих.

У цьому контексті необхідно згадати широко відомі приклади “нескінченності” запасів багатьох родовищ старих нафтогазовидобувних районів (Бакинський, Грозненський, Дагестанський, Західно-Сибірський та ін). Це явище виявлено і у Дніпровсько-Донецькій западині на Шебелинському газовому родовищі [К вопросу..., 2005; Возможные..., 2006], запаси якого, порівняно з початково підрахованими, вже практично подвоєні, що й навело на думку про додаткове надходження вуглеводнів у середньокарбоніву пастку.

Детальні дослідження надглибокої свердловини 600 виявили на глибинах понад 4,5–5,0 км пачки горизонтально-тріщинуватих нерівномірно кавернозних теригенно-глинистих порід, які містять скупчення газу з АВПТ. Останні й розглядаються як ймовірне джерело поповнення запасів цього родовища.

Одним із прикладів є Ромашкінське родовище (Татарстан), яке розробляється вже понад 60 років. За першими оцінками запаси родовища становили 710 млн. тонн нафти, однак дотепер вже видобуто близько 3 млрд. тон нафти, і передбачається, що розробка родовища триватиме до 2200 року [Поликарпов, 2010]. Подібні особливості характерні і для Бориславського родовища, де кількість видобутої нафти, за об’ємом резервуару, мала становити 4,5 млн. тонн, а на 2010 р. видобуто 33 млн. тонн [Мычак, Филиппович, 2010].

Зазначені факти породили гіпотезу щодо можливості сучасного підтікання вуглеводнів із горизонтів, що залягають нижче [Соколов, Гусева, 1993], що підтверджують емпіричні дані [К вопросу..., 2005]. Серед останніх особливий інтерес ви-

кликають випадки з категорії парадоксів, оскільки виходять за межі традиційних уявлень, але можуть пояснюватися міграційно-геодинамічною природою. До таких належать: відсутність традиційної залежності густини нафти від вмісту в ній асфальтено-смолистих компонентів, а іноді – наявність зворотної залежності; випадки одночасного вмісту в супутніх водах одного покладу хімічних елементів, які вважаються антагоністами, оскільки є індикаторними для порід різних генетичних типів. На нашу думку, ці факти можна пояснити перетоками з проміжних резервуарів катагенетичного типу, які містять флюїди різновікових стадій генерації.

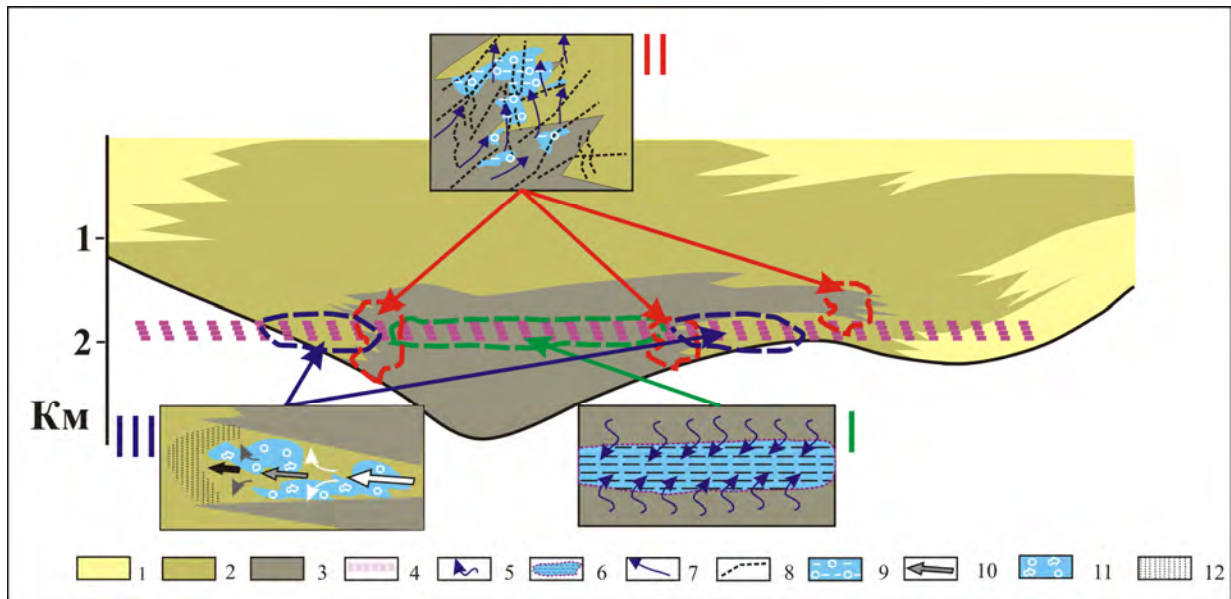
З дискретним у просторово-часовому аспекті розвитком регіональних зон розущільнення, на наш погляд, пов’язане й утворення у глинистих нашаруваннях басейнів зон акумуляції “сланцевих” вуглеводнів. При цьому формується єдина нафтогазова система, яка складається з трьох типів нетрадиційних резервуарів ВВ (див. рисунок).

*I тип.* У глинистих формаціях на активному підетапі ексфільтраційного катагенезу виникають регіональні зони розущільнення [Григорчук, 2008, 2010]. У цих зонах величина дилатансійного ефекту досягає 200–300 мПа [Дмитриевский и др., 2007], що створює потужний механізм нагнітання у них флюїдів з навколишніх породних масивів і призводить до нагромадження ВВ головню у тріщинах.

*II тип.* Ділянки переходу глинистих утворень у піщано-глинисті характеризуються значною літологічною неоднорідністю як у розрізі, так і по латералі. Різна здатність піщаних та глинистих порід до ущільнення [Юсупова и др., 2005] зумовила низку деформаційних явищ. В результаті цього сформувалися резервуари складної внутрішньої будови з розвитком блоків пористих та мікротріщинуватих порід, розділених потужнішими зонами літогенетичної тріщинуватості.

*III тип* являє собою резервуари катагенетичного типу, які формувалися унаслідок надходження по регіональних зонах розущільнення агресивних флюїдів в алевроліто-піщані нашарування, що зумовлювало утворення порових і кавернозно-порових колекторів при розчиненні карбонатних мінералів цементу, уламкових – каркасу порід, каолінізації глинистих мінералів. Поступова втрата по латералі енергетичного потенціалу ексфільтраційних розчинів, їхнє змішування з поровими спричиняло різноманітний аутигенний мінералогенез. У результаті ділянки вилуговування порід-колекторів екранувалися зонами мінерального ущільнення.

Описані резервуари являють собою як об’єкти видобутку нафти і газу, так і проміжні зони, з яких ВВ періодично могли надходити у традиційні структурні, літологічні чи комбіновані пастки.



Літофлюїдодинамічна модель нафтогазової системи осадово-порідного басейну:  
**Літологічні комплекси:** 1 – піщаний; 2 – глинисто-піщаний; 3 – глинистий; 4 – регіональна зона розущільнення. **Типи резервуарів вуглеводнів:** I – *центральної*: 5 – стягування розчинів; 6 – вуглеводні у тріщинних колекторах; II – *периферійні*: 7 – локально-зональна міграція розчинів; 8 – зони літогенетичної тріщинуватості; 9 – вуглеводні у порово-тріщинних колекторах; III – *дистальні*: 10 – регіональна міграція розчинів (інтенсивність тону відповідає збільшенню концентрації); 11 – вуглеводні у кавернозно-порових колекторах; 12 – зона мінерального ущільнення порід

**Висновки**

Флюїдодинамічна модель катагенезу дає змогу вирішити ряд питань (азональний розвиток аутигенних мінералів, інверсії катагенетичних показників, недостатня обґрунтованість чинників міграції вуглеводневих флюїдів тощо), які не пояснював традиційний стадійно-катагенетичний аналіз. У розвитку регіональних накладених процесів важливу роль відіграють т. зв. “корові хвильоводи”, з якими пов’язане формування резервуарів катагенетичного типу, які дискретно формуються на етапі ексфільтраційного катагенезу і можуть слугувати проміжними (тимчасовими) зонами нагромадження вуглеводнів, що актуально у контексті сучасної гіпотези про поповнення родовищ у старих нафтогазовидобувних регіонах. Поклади у зазначених резервуарах можна зарахувати до нетрадиційного (неконвенційного) типу. Вони є дистальною частиною єдиної нафтогазової системи, центральні дялянки якої являють собою зони акумуляції “сланцевих” вуглеводнів.

**Література**

Возможные пути подпитки газового месторождения Шебелинка / Юрова М.П., Томилова Н.Н., Кузьмин Г.Р. и др. // Дегазация Земли: геофлюиды, нефть и газ, парагенезы в системе горючих ископаемых: Тез. V Межд. конф. – М.: ГЕОС. – 2006. – С. 295–297.  
 Григорчук К.Г. До проблеми періодизації катагенезу в контексті сучасних моделей нафтога-

зоутворення // Геологія і геохімія горючих копалин. – 2004. – № 3. – С. 16–24.

Григорчук К. Ексфільтраційний катагенез. Головні процеси та нафтогеологічні наслідки // Геологія і геохімія горючих копалин. – 2008. – № 1 – С. 44–55.

Григорчук К. Особливості літофлюїдодинаміки ексфільтраційного катагенезу // Геологія і геохімія горючих копалин. – 2010. – № 1 – С. 60–68.

Дмитриевский А.Н. Постседиментационные процессы: новые подходы // Осадочные процессы: седиментогнез, литогенез, рудогенез (эволюция, типизация, диагностика, моделирование): М-лы 4-го Всероссийского литологического совещания. – М.: ГЕОС. – 2006. – С. 14–16.

Дмитриевский А.Н., Белянкин Н.А., Каракин А.Н. Один из возможных механизмов восполнения запасов углеводородов // Докл. РАН. – 2007. – Т. 415. – № 5. – С. 678–681.

К вопросу о возможности современного восполнения запасов нефтегазовых залежей: факты и геодинамические корни избирательного характера современной вертикальной миграции флюидов / Касьянова Н.А., Чижов С.И., Репей А.Н., Брюх О.В. // Новые идеи в геологии и геохимии нефти и газа. Нефтегазоносные системы осадочных бассейнов: Мат. 8-й Межд. конф. – М.: ГЕОС, 2005. – С. 192–194.

Копелиович А.В. Эпигенез древних толщ юго-запада Русской платформы // М.: Тр ГИН АН СССР, вып.121. 1965. – 347 с.

- Коссовская А.Г., Шутов В.Д. Проблема эпигенеза // Эпигенез и его минеральные индикаторы – М.: Тр. ГИН АН СССР, вып.221. 1971. – С. 9–34.
- Лукин А.Е. Проблема происхождения нефти и газа (современное состояние и перспективы решения) // Теоретичні та прикладні проблеми нафтогазової геології. – Київ: ІГН НАНУ. – Т. 1. – 2000. – С. 13–21.
- Мычак А.Г., Филиппович В.Е. Геодинамические аспекты флюидодинамики территорий длительной нефтегазодобычи // Дегазация Земли: геотектоника, геодинамика, геофлюиды: нефть и газ, углеводороды и жизнь: М-лы Всероссийской конф. с межд. участием, посвящ. 100-летию со дня рождения П.Н. Кропоткина. – М.: ГЕОС. – 2010. – С. 373–378.
- Поликарпов В.К., Лазнер Г.А. “Трубы” углеводородной дегазации как механизмы возобновления месторождений углеводородов и базисная посылка для прогноза нефтегазоперспективных зон // Там же, С. 419–421.
- Сиротенко О.И., Сиротенко Л.В. Синхронные и асинхронные модели катагенеза и нефтегазонасность больших глубин // Новые идеи в геологии и геохимии нефти и газа: Материалы 6-й межд. конф. – М.: ГЕОС. – 2002. – С. 178–182.
- Соколов Б.А., Гусева А.Н. О возможной быстрой современной генерации нефти и газа // Вестник МГУ, Сер. Геол. – 1993. – № 3. – С. 39–46.
- Соловьев Н.Н. О принудительном массообмене в осадочных бассейнах // Дегазация Земли: геотектоника, геодинамика, геофлюиды: нефть и газ, углеводороды и жизнь: М-лы Всероссийской конф. с межд. участием, посвящ. 100-летию со дня рождения П.Н. Кропоткина. – М.: ГЕОС. – 2010. – С. 518–520.
- Юсупова И.Ф., Абукова Л.А., Абрамова О.П. Катагенные потери органического вещества пород как фактор геодинамической дестабилизации // Новые идеи в геологии и геохимии нефти и газа: М-лы VII Межд. конф. – М.: ГЕОС. – 2005. – С. 500–502.
- Япаскурт О.В. Обзор состояния и путей развития теории постседиментационного литогенеза // Осадочные процессы: седиментогенез, литогенез, рудогенез (эволюция, типизация, диагностика, моделирование): Материалы 4-го Всероссийского литологического совещания. – М.: ГЕОС. – 2006. – С. 17–23.

#### ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ ФЛЮИДОДИНАМИЧЕСКОЙ КОНЦЕПЦИИ КАТАГЕНЕЗА

К.Г. Григорчук

В работе охарактеризованы основные принципы флюидодинамической концепции катагенеза, которая обосновывает его циклическую природу, соответствующую этапности тектонического режима, влияние которого на вторичные процессы опосредствовано особенностями флюидодинамики. Аргументирована важная роль консервации литогенетических процессов на пассивном подэтапе эксфильтрационного катагенеза. Показано принципиальное значение активного эксфильтрационного режима в развитии региональных наложенных процессов, что привело к возникновению резервуаров углеводородов, в том числе и “сланцевых”.

**Ключевые слова:** катагенез; флюидодинамическая концепция; породы-коллекторы; нефтегазонасные бассейны.

#### THEORETICAL AND PRACTICAL ASPECTS OF THE FLUIDODYNAMIC CONCEPTION OF CATAGENESIS

K.G. Grigorchuk

In the paper the main principles of the fluidodynamic conception of catagenesis is described. The conception grounds the cyclic nature of catagenesis according to stages of tectonic regime, the features of which influence on secondary rocks alteration mediated by fluidodynamic features. The important role of the lithogenetic processes preservation during the passive substage of exfiltration catagenesis is argued. The principal significance of active exfiltration regime for the development of regional superposed processes, which led to formation of hydrocarbon reservoirs (including “shale” types) is shown.

**Key words:** catagenesis; fluidodynamic conception; reservoir-rocks; oil-gas bearing basins.