

УДК 528.8:(556.342:532.546):(622.279:553.983)](477)

Комплексування дистанційних і гідрогеологічних даних для оцінки ризику утворення гідравліко-фільтраційного зв'язку між геоструктурами у процесі видобутку сланцевого газу

В. І. Лялько^{1*}, О. Т. Азімов¹, Є. О. Яковлев²¹“ДУ Науковий Центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України”, Київ, Україна²Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України, Київ, Україна

У статті розглянута актуальність застосування сучасних аерокосмічних і гідрогеологічних методів у процесі вирішення завдань екологічної безпеки гідросфери при видобутку сланцевого газу в Україні. Наведено приклад пілотного впровадження цих методів у межах Юзівської ділянки Дніпровсько-Донецької западини.

Ключові слова: сланцевий газ, фрекінг-зони, розривні порушення, висхідна міграція, підземні води, токсичні сполуки, дані дистанційного зондування Землі.

© В. І. Лялько, О. Т. Азімов, Є. О. Яковлев. 2014

Видобуток сланцевого газу (СГ) пов'язаний з техногенним створенням у стиснутих газоводонасичених шарах, які залягають на глибинах порядку 2,5–4,5 км, просторово розвинутих зон високопроникної тріщинуватості. Для цього використовується фрекінг-процес (ФП), який відрізняється від традиційного гідророзриву пластів високоенергетичним гідрогеомеханічним впливом на слабопроникні газоводонасичені шари шляхом нагнітання у горизонтальні (довжиною до 1,0–1,5 км і більше) або нахилені свердловини суміші з води (96–97%), піску (1,5–2%), хімічно- та поверхнево-активних речовин.

Аналіз технологічних параметрів ФП (тиски, динаміка пружно-пластичних деформацій фрекінг-зони — ФЗ, тріщиноутворення тощо) свідчить, що до однієї з основних еколого-техногенних загроз та геолого-економічних ризиків промислової розробки родовищ СГ в нафтогазоносних структурах України, порівняно з традиційними газовими родовищами, належить небезпека довгострокового забруднення підземної гідросфери, зокрема, стратегічно важливих горизонтів прісних вод питної якості та родовищ лікувальних мінеральних ресурсів унаслідок формування при використанні ФП деформацій регіональних водотривів, техногенних тріщинно-проникних зон з великою кількістю (тис. м³) токсичних технологічних сполук, радону та природних радіонуклідів, які здатні до міграції в підземні та поверхневі джерела питно-господарського водопостачання.

Загалом у процесі техногенної еволюції гідрогеофільтраційної системи ФЗ можна виділити три фази:

1) просторовий розвиток уздовж стовбура горизонтальної або нахиленої свердловини за умови пружно-пластичних деформацій мережі проникних

тріщин, відкритість яких фіксується піщаним матеріалом при одночасному заповненні токсичним технологічним розчином; у процесі розвитку фрекінг-тріщинуватості існує ризик руйнівних деформацій вищезалягаючих слабопроникних шарів та периферійного розвитку гідравліко-фільтраційного зв'язку ФЗ з проникними тектонічними зонами; останнє є основою формування інжекційного висхідного потоку токсичних технологічних забруднень до прісноводних горизонтів зони активного водообміну (ЗАВ);

2) площева висхідна гідрогеоміграція у вигляді повільного дифузійно-конвективного потоку залишків маломінералізованих технологічних розчинів під впливом реологічного скорочення тріщинного простору ФЗ та їх зменшеної густини ($\gamma_{\text{пв}}=1000 \text{ кг/м}^3$) порівняльно з мінералізованими ($M=300\text{--}400 \text{ кг/м}^3$) поровими розчинами ($\gamma_{\text{пв}}=1200 \text{ кг/м}^3$); екологічно небезпечною складовою цієї фази розвитку ФЗ можна вважати поступове забруднення порових розчинів вищезалягаючих горизонтів зони уповільненого водообміну (ЗУВ) та ЗАВ;

3) розвиток у ФЗ гідрогеодеформаційного поля пружних напружень з накопиченням потенційної енергії та ризиком деформацій денної поверхні або проявів техногенних мікрофокусних землетрусів.

Беручи до уваги результати дешифрування матеріалів дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), нами виконано орієнтовну експертну оцінку часових показників еволюції ФЗ з урахуванням гідрогеофільтраційних і геодинамічних процесів, насамперед параметрів формування гідравліко-фільтраційного зв'язку ФЗ з проникними тектонічними структурами (розривними порушеннями). Отож за результатами математичної обробки результатів проведено-

* e-mail: casre@casre.kiev.ua

го нами структурного дешифрування даних ДЗЗ, що являють собою мережу (або поле) лінеаментних об'єктів (рис.), у районі першої пошукової свердловини (400-Біляївська) на Юзівській площі Дніпровсько-Донецької западини середня (або питома) щільність лінеаментів становить $0,32 \text{ км/км}^2$. Щільність техногенної тріщинуватості ФЗ у типовому кластері з 6 горизонтальних свердловин (США, штат Пенсільванія) складає $1,5\text{--}3,0 \text{ км/км}^2$, тобто від 4,7 до 9,4 разів більше за щільність лінеаментів.

Результати розрахунку за вищенаведеною схемою свідчать про істотне зростання вразливості щодо забруднення горизонтів прісних підземних водних об'єктів у межах нафтогазоносних структур унаслідок дії чинників ФП. Наявні регіональні оцінки за даними математичного моделювання водотеплопереносу [1, 3, 4 та ін.], проникності ($K_T = 10^{-4} \text{ м/добу}$) й активної пористості ($n_T = 10^{-3}$) тектонічних зон дозволяють виконати орієнтовний розрахунок часу висхідної міграції забруднень (t_m) з ФЗ на глибині $Z_{\text{ФЗ}} = 3000 \text{ м}$ до ґрунтового водоносного горизонту (ГрВГ).

Так, згідно з залежністю Дарсі:

$$t_m \approx \frac{Z_{\text{ФЗ}}}{V_m}, \quad (1)$$

де V_m – середня швидкість висхідної міграції забруднень технологічного розчину. Середнє значення V_m може бути розраховано за рівнянням:

$$V_m = \frac{K_T \cdot i}{n_T}, \quad (2)$$

де i – градієнт висхідного потоку в гідравліко-фільтраційній системі “зона фрекінгу – проникна тектонічна структура”, n_T – активна пористість тектонічної зони. За даними математичного моделювання водотеплопереносу в глибоких горизонтах ЗУВ $n_T = 10^{-3}\text{--}10^{-4}$ [4]. Допускаючи лінійне зниження у часі тиску у ФЗ від початкового

$$P_0 = \gamma_n Z + \sigma_{\perp} \quad (3)$$

до гідростатичного, при якому припиняється вивільнення СГ, визначимо середнє значення тиску висхідної міграції:

$$P_{\text{ср}} = \frac{[(\gamma_n Z_{\text{ФЗ}} + \sigma_{\perp}) + Z_{\text{ФЗ}}]}{2}, \quad (4)$$

де γ_n – середня об'ємна вага (густина) гірських порід ($\gamma_n \approx 2,2 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$); $Z_{\text{ФЗ}}$ – середня глибина ФЗ (процесу), $Z_{\text{ФЗ}} = 3000 \text{ м} = 300 \text{ МПа}$; σ_{\perp} – міцність сланцево-га-

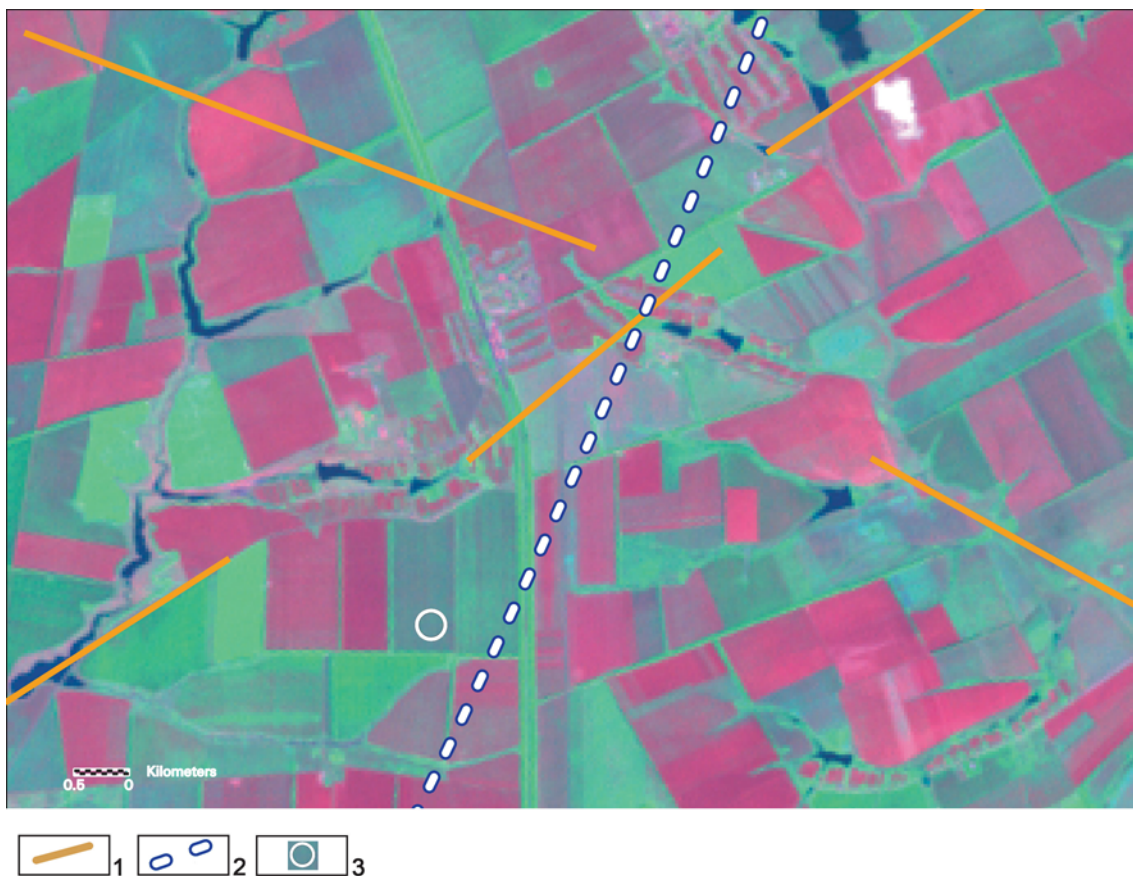


Рис. Збільшений фрагмент схеми результатів регіонального структурного дешифрування радіолокаційних даних ДЗЗ на фоні синтезованого сканерного багатозонального космічного знімка LANDSAT ETM+ з супутника LANDSAT 7 від 01.06.2002 р. (7-й, 4-й і 2-й канали; псевдокольори): 1 – основні лінеаменти, що відображають розломно-блоковий каркас кристалічного фундаменту та осадового чохла; 2 – контур мезоморфоструктури, віддешифрованої на космічних зображеннях високого рівня генералізації, яка ймовірно відображає пов'язану з підкоровим магматизмом структуру; 3 – місцезоложення свердловини 400-Біляївська

зоносних порід на розтягування (розрив) нормально до нашарування (за літературними даними $\sigma_{\perp} \approx 25 \text{ МПа} \approx 300 \text{ кг/см}^2$ [2]).

У відповідності з вищенаведеними даними величина градієнту висхідної міграції з ФЗ дорівнюватиме:

$$i = \frac{P_{\text{ср}}}{Z_{\text{фз}}} = \frac{[(\gamma_n Z_{\text{фз}} + \sigma_{\perp}) + Z_{\text{фз}}]}{2Z_{\text{фз}}} = \frac{[(660 + 25) + 300]}{(2 \cdot 300)} \approx 1,64 \quad (5)$$

а час досягнення з цією міграцією забруднень з ФЗ рівня ГрВГ становитиме

$$t_{\text{м}} = \frac{Z_{\text{фз}}}{(K_T \cdot i / n_T)} = \frac{3000}{\left[\frac{(10^{-4} \cdot 1,64)}{(10^{-3} \div 10^{-4})} \right]} \approx 18,3 \cdot 10^3 \div 1829 \text{ діб} \approx 50 \div 5 \text{ років} \quad (6)$$

Потрібно відмітити, що орієнтовні оцінки часу можливої висхідної міграції технологічних забруднень із ФЗ збігаються з терміном експлуатації цієї зони ($t_{\text{м}} \geq 5$ років) та з проявами у США багаточисель-

них локальних забруднень підземних і поверхневих джерел водопостачання ($t_{\text{м}} > 20 \div 30$ років).

Література

1. Водообмен в гидрогеологических структурах Украины. Водообмен в гидрогеологических структурах и Чернобыльская катастрофа: в 2 кн. / [Шестопапов В. М., Лялько В. И., Ситников А. Б. и др.] ; отв. ред. В. М. Шестопапов. — Киев: ИГН НАН Украины, НИЦ РПИ НАН Украины, 2001. — 635 с.
2. Кобранова В. Н. Петрофизика / В. Н. Кобранова. — М.: Недра, 1986. — 392 с.
3. Моделирование гидрогеологических условий охраны подземных вод / [Лялько В. И., Бут Ю. С., Филиппов Ю. Ф., Шнейдерман Г. А.]. — Киев: Наук. думка, 1980. — 192 с.
4. О перспективной оценке эксплуатационных запасов подземных вод по Днепровско-Донецкому артезианскому бассейну (в пределах УССР): Отчет / [Л. С. Крыжановский, Д. Р. Литвак и др.] / Мингео УССР, Киев. геологоразвед. трест. — Киев, 1977. — 606 с.

КОМПЛЕКСИРОВАНИЕ ДИСТАНЦИОННЫХ И ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ ДЛЯ ОЦЕНКИ РИСКА ОБРАЗОВАНИЯ ГИДРАВЛИКО-ФИЛЬТРАЦИОННОЙ СВЯЗИ МЕЖДУ ГЕОСТРУКТУРАМИ В ПРОЦЕССЕ ДОБЫЧИ СЛАНЦЕВОГО ГАЗА

В. И. Лялько, А. Т. Азимов, Е. А. Яковлев

В статье рассмотрена актуальность применения современных дистанционных аэрокосмических, гидрогеологических и информационных технологий в процессе решения задач экологической безопасности гидросферы при добыче сланцевого газа в Украине. Наведен пример пилотного внедрения этих технологий в пределах Юзовского участка Днепровско-Донецкой впадины.

Ключевые слова: сланцевый газ, фрекинг-зоны, разрывные нарушения, восходящая миграция, подземные воды, токсические соединения, данные дистанционного зондирования Земли

COMPLEXATION THE REMOTE SENSED AND HYDROGEOLOGICAL DATA TO ASSESSMENT THE RISK OF FORMATION THE FLUID AND FILTRATIONAL CONNECTION BETWEEN GEOSTRUCTURES WHEN IN USE THE SHALE GAS PRODUCTION

V. I. Lyalko, O. T. Azimov, E. O. Yakovlev

The article considers the relevance of the application of modern remote aerospace, hydrogeological and information technologies in solving the environmental security of the hydrosphere when shale gas will be production in Ukraine. Place your an example of the pilot implementation of these technologies within the Yuzivka area of the Dnieper-Donets Depression.

Keywords: shale gas, fracturing zones, fractures, up-going migration, underground waters, toxic compounds, remote sensing data