

ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 539.16:553.98(477-18)

*Самчук Ірина Миколаївна.**Харківський національний університет імені В.Н.Каразіна.**Старший викладач.**Кандидат геологічних наук.**м. Харків, майдан Свободи 4, к. 6-66**Черняков Євгеній Олександрович**Український науково-дослідний інститут природних газів**Провідний інженер**м.Харків Гімназійна Набережна, 20*

АНОМАЛІЇ ПРИРОДНОГО РАДІОАЦІЙНОГО ФОНУ, ЯК ПОШУКОВА ОЗНАКА ПОКЛАДІВ ВУГЛЕВОДНІВ.

*Samchuk Iryna**Chernyakov Evgen*

ANOMALIES OF THE NATURAL RADIOACTIVE BACKGROUND, AS A SEARCH SIGN OF HYDROCARBON DEPOSITS.

Abstract. Here we present data about studying of connection between of anomalies of the radioactive background and hydrocarbon deposits.

Studying of changes of the level of radioactivity over hydrocarbon deposits began at the beginning of the 20th century and still carries on.

Despite the century history, the degree of scientific grounding and general study of this issue is ambiguous, and it leaves a lot of under-illuminated aspects, among which the main issue is the nature of such anomalies and their forecasted value for the search for hydrocarbon deposits.

The historical study in the article allows the reader to get different views on the nature of radio anomalies over hydrocarbon deposits and the evolution of these views, which took place under the influence of the scientific and technological revolution.

The spread of radiation background anomalies on the territory of the Dnipro-Donets Rift with the binding to hydrocarbon deposits is considered in this article.

The indicated ways to determine the nature and features of the spread of radiogeochemical anomalies under different geological conditions will make it possible to use this parameter as a search feature for forecasting hydrocarbon deposits.

Анотація. Наводяться дані по вивченню зв'язку між аномаліями радіаційного фону та покладами вуглеводнів. Вивчення змін рівня радіоактивності над родовищами вуглеводнів розпочалось на початку ХХ сторіччя і продовжується до цього часу. Незважаючи на понад вікову історію, ступінь наукового обґрунтування та загальної вивченості цього питання досить неоднозначний і залишає багато недоосвітлених аспектів, серед яких головним є питання про природу таких аномалій та їх прогностичне значення для пошуків покладів вуглеводнів. Викладений у статті історичний нарис дозволяє читачу ознайомитись з різними поглядами на природу радіоаномалій над покладами ВВ та еволюцію цих поглядів, що відбувалась під впливом науково-технічної революції. У статті розглянуто розповсюдження аномалій радіаційного фону на території Дніпровсько-Донецької западини з прив'язкою до родовищ вуглеводнів. Наведені шляхи для визначення природи та особливостей розповсюдження радіогеохімічних аномалій у різних геологічних умовах дасть змогу використовувати цей параметр як пошукову ознаку для прогнозування покладів вуглеводнів.

Keywords. Hydrocarbons, Dnieper-Donets Rift, Radiogeochemistry Anomalies.

Ключові слова. Вуглеводні, Дніпровсько-Донецька западина, радіогеохімічні аномалії.

Вступ. Постановка проблеми.

Радіоактивність повсюдна: будь-яка місцевість характеризується певним природним радіаційним фоном. Як правило, його рівень невеликий і не представляє небезпеки для здоров'я, проте в зонах геологічних розломів концентрація такого, скажімо, радіоактивного елемента як радон може у багато разів перевищувати середньостатистичне значення. Мало того, що на долю радіонуклідів

радону припадає більше половини всієї тієї дози опромінення, яку в середньому отримує організм людини від природних і техногенних радіонуклідів навколишнього середовища,

На жаль, і людина своєю господарською діяльністю нерідко підвищує рівень радіації, наприклад, в процесі видобутку нафти і газу. При цьому радіонукліди, які містяться в глибинних водах і гірських породах, потрапляють в якості супутніх субстанцій на поверхню землі. Власне

кажучи, те, що відкладення на стінках нафтогазового промислового обладнання містять радіонукліди, відомо вже з 70-х років минулого століття. Підвищена концентрація радіонуклідів характерна і для продуктів фільтрації важкої нафти і сепарації газу, що накопичуються в фільтрах, сепараторах і відстійниках.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Історія використання природного радіаційного фону, як пошукової ознаки наявності родовищ вуглеводнів у літературі зустрічається починаючи з 1928 року [1, 2], але цілком ймовірно існування більш ранніх згадувань, які не були відомі автору.

Незважаючи на те, що перші дослідження по вивченню зв'язку радіаційного фону з нафтогазоносністю належали радянським вченим, розвиток та широке застосування у практиці пошукових робіт вони отримали у США. Так, у 1973 році Американським шахтним управлінням було видано циркуляр 8579 [3], де зроблено огляд 237 статей, які стосуються вивчення гамма-випромінювання як пошукової ознаки наявності покладів вуглеводнів (ВВ) на глибині. За даними авторів статей, виявилось наступне: ймовірність позитивного результату при застосуванні описуваної пошукової ознаки сягає 85%.

У згаданій публікації 1928 року [1, 2] об'єктом дослідження було Майкопське нафтове родовище, де по двох профілях, за допомогою іонізуючої камери проводились вимірювання радіоактивного поля. В результаті робіт, над покладом нафти шнуркового типу, було встановлено підвищення радіаційного фону, які були поза межами можливої похибки обчислення.

Поштовхом для початку широкомасштабних робіт з розробки радіогеологічних методів пошуку вуглеводнів стало впровадження у практику робіт обладнання на основі сцинтиляційних лічильників. Канадські дослідники [4] наводять дані змін радіаційного фону по аеро-гамма-радіометричному профілю, який перетинає нафтове родовище Redwater (Канада). У своїй наступній роботі [5] один із дослідників описує спостереження ділянки зниження радіаційного фону, що спів падає з проекцією центральної частини нафтового покладу на денну поверхню. Водночас з тим, для зон облямування родовища, характерними є навпаки, наростання значень радіоактивності. Виникнення таких своєрідних радіаційних аномалій пояснювалось явищем дифузійного транспортування водорозчинного радію з глибинних горизонтів до денної поверхні. Роль екранів у цьому процесі відводилась, саме покладам вуглеводнів, це пояснювало появу областей відносного зменшення значень радіоактивності над родовищами.

У наступні роки радіоактивною зйомкою було охоплено понад тридцять нафтогазових об'єктів, розташованих на території США і Канади. Результати свідчили, що більшість з них, тим чи іншим чином, проявляють себе у радіогеохімічних полях.

На території Радянського Союзу, одночасно з закордонними дослідниками, також продовжувались роботи з оцінки ефективності радіометричної зйомки. Для прогнозування вуглеводневих родовищ дослідження проводилися над відомими родовищами нафти і газу Західного Туркменістану, Нижнього Поволж'я та Передкавказ'я. Паралельно з вимірюванням радіоактивності і концентрацій радіоактивних елементів здійснювалося вивчення ряду геохімічних характеристик поверхневих відкладень, аналізувалися особливості геоморфологічної та літологічної будови територій. Був зроблений важливий висновок, що радіоактивні аномалії над вуглеводневими покладами є окремим випадком загальної епігенетичної трансформації геохімічних полів [6].

У процесі робіт з обробки отриманих матеріалів та розробки радіоактивних методів для пошуку родовищ нафти та газу, які проводились у лабораторії радіогеохімії та ізотопного аналізу всесоюзного науково-дослідного інституту ядерної геофізики і геохімії (ВНІЯГТ), були отримані фактичні дані по проведених наземних і аеро-гамма-зйомках, згідно з якими продуктивні та непродуктивні антиклінали ідентично проявляють себе в полях розподілу випромінювання природних радіоактивних елементів. Спираючись на матеріали гамма-каротажу глибоких свердловин та дані літологічного складу порід, було показано тісну кореляцію між значеннями радіоактивності та гранулометричним складом порід. При цьому для всіх стратиграфічних горизонтів спостерігалась стійка тенденція у збільшенні ступеню піскуватості склепінь успадкованих піднять з одночасним зростанням глинистості на крилах, що відбивалося на характері розподілу радіонуклідів. Тобто, збільшення значення радіаційного фону на крилах і зменшення у склепінній частині відповідає гранулометричним показникам складу порід [7].

Таким чином, трактування радіогеохімічного методу досліджень, як прямого пошукового методу, який повинен вказати на наявність чи відсутність покладу вуглеводнів у надрах (без зважання на геологічні особливості будови території) привело до дискредитації цього методу на досить тривалий час [8, 9].

Початок відродження програм радіогеохімічних досліджень розпочався у 80-х роках ХХ сторіччя. У США були опубліковані результати переінтерпретації гамма-спектрометричних даних по нафтогазоносних площах, отриманих в рамках реалізації програми NURE та інших аерогеофізичних робіт [9, 10-12], здійснені наземні гамма-радіометричні [9, 13] та радонові зйомки [14]. Розглянуто питання зв'язку радіоактивних аномалій з епігенетичною карбонатизацією порід [15], проаналізовано характер взаємовідносин між природними радіоактивними елементами [9, 16, 17]. Термолюмінесцентне радіометричне картування в значних об'ємах проводиться при оцінці нафтогазоносності ряду площ КНР [9, 18, 19]. Дослідно-методичні та пошукові роботи з

застосуванням радіоактивних методів проводяться в Росії [20-22], Ізраїлі [9, 23, 24] та Індії [9, 25].

Результати цих досліджень підтверджують наявність радіоактивних аномалій над родовищами нафти та газу, а автори дотримуються епігенетичної (успадкованої) природи порушень структури радіогеохімічних полів. Однак прогрес у розумінні процесу формування радіогеохімічних аномалій залишається недостатнім. У більшості статей даються посилання на відомі моделі виникнення аномальних ефектів, або вносяться в них незначні зміни [9].

Питання причин виникнення таких аномалій залишається однозначно не розкритим і досить дискусійним.

На території післярадянського простору ситуація ускладнюється ще й наявними обмеженнями доступу до матеріалів досліджень (більшість геологічних звітів минулих років має гриф «для службового користування» або «секретно», що не є актуальним на теперішній час).

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми.

На території Дніпровсько-Донецької западини (ДДЗ) дослідження радіоактивності при пошуках на нафту і газ пов'язувались на самперед з прогнозом родовищ уранової сировини для розвитку ядерної промисловості. Питання генетичного зв'язку між іонізуючим випромінюванням та покладами вуглеводнів загалом не було пріоритетним, хоча і зустрічається у фондових звітах Луканіна О.Л., Токарева Б.Д., Бугенко В.Н., Вржжкова В.А. та інших.

Загалом вивченням зв'язку геохімічних аномалій, у тому числі і радіогеохімічних, з покладами вуглеводнів займалися Суярко В.Г., Багрій І.Д., Гладун В.В., Троянов О.М., Цимбал О.О., Ковшиков А.О. та інші. У комплексній методиці прогнозування покладів вуглеводнів приповерхневими методами роль радіоаномалій досить неоднозначна. Як можна судити зі зробленого у першій частині статті аналізу досліджень і публікацій значення показників радіаційного фону над родовищами вуглеводнів змінюються, але не завжди зрозуміло у бік збільшення чи зменшення, від фонових показників. У межах Дніпровсько-Донецької западини існує.

Виклад основного матеріалу дослідження.

В період з 2003 року по 2012 рік співробітниками відділу Геолого-промислових, гідрогеологічних та газогеохімічних досліджень (ГПГД) Українського науково-дослідного інституту природних газів (УкрНДІГаз) проводились первинні радіометричні дослідження, спрямовані на виявлення техногенно підсиленних джерел іонізуючого випромінювання, які потенційно можуть виникати в процесі експлуатації родовищ.

При транзиті флюїдів (вибій – ліфтова колонна – фонтанна арматура – шлейф установки комплексної підготовки газу (УКПГ)) в залежності від хімічного складу вод, мінералізації та термобаричних умов, радіоактивні речовини, якщо вони є у складі флюїду, накопичуються на різних

елементах обладнання – від насосно-компресорних труб до ємностей з сировиною та супутньо-промисловими водами (СПВ).

Облаштування УКПГ здійснюється із застосуванням великої кількості сепараційного обладнання, теплообмінників, різних ємностей (конденсату, води, інгібіторів та ін.), роздільників, трубопроводів змінного перерізу, з вузлами з'єднань, запірною арматурою та ін. Таким чином, технологічна схема підготовки газу до транспортування є досить складною. Внаслідок цього існує багато локальних ділянок і елементів, де можуть відкладатися та накопичуватися радіоактивні речовини. Єдина схема точок виміру не може досить повно відобразити картину, що складається в межах одного УКПГ. Нами визначені об'єкти, на яких накопичення радіоактивних речовин є найбільш вірогідним. До таких об'єктів відносяться наступні: вхідні трубопроводи свердловин, сепаратори, розділювачі, ємності накопичення сировини та, особливо, СПВ. На кожному елементі обладнання виміри виконуються у декількох точках. Окрема увага надається вхідним трубопроводам до обладнання, елементам, на яких влаштовуються труби різних діаметрів, днищем ємностей, сепараторів та розділювачів. В цілому ж виміри проводились на всій території промислових майданчиків УКПГ. В середньому на території УКПГ виконувалось 50-60 вимірів, в тому числі, з метою визначення можливих локальних забруднень в результаті розливів при промивці обладнання та інших технологічних операціях. Фонові значення визначалися за територією УКПГ на відстані 2-3 м від огорожи.

При дослідженнях, які проводилися на експлуатаційних свердловинах, виміри здійснювалися на фонтанній арматурі, викидних трубопроводах, шлейфах УКПГ, та біля амбарів. В середньому опрацьовувалось 10-15 точок для кожної свердловини.

Дослідження виконувались на родовищах вуглеводнів газопромислового управління (ГПУ) «Шебелинкагазвидобування», а у 2012 р. було виконано обстеження на об'єктах ГПУ «Полтавагазвидобування». Всього за час проведення робіт було виконано виміри на 52х родовищах, які належать ГПУ «Шебелинкагазвидобування» та на 10 родовищах ГПУ «Полтавагазвидобування». За результатами робіт було встановлено 19 родовищ, на елементах промислового обладнання яких зафіксовано підвищений рівень зовнішнього гамма-випромінювання зі значеннями що наближаються або перевищують 50 мкР/г, при нормі приблизно 10 мкР/г. До таких родовищ відносяться: Дружелюбівське нафто-газоконденсатне родовище (НГКР), Гашинівське НГКР, Безлюдівське газоконденсатне родовище (ГКР), Наріжнянське НГКР, Юліївське НГКР, Скворцівське НГКР, Вишнівське ГКР, Північно-Коробочкинське НГКР, Березівське НГКР, Євгенівське ГКР, Абазівське ГКР, Котелівське ГКР, Опішнянське ГКР, Новотроїцьке ГКР, Гадацьке ГКР, Яблунівське ГКР, Матвіївське ГКР, Семенцівське ГКР.

При просторовій візуалізації об'єктів (побудові карти розташування ділянок), на яких зафіксовані підвищення рівня випромінювання, досить чітко простежується закономірність розташування зазначених об'єктів поза межами розповсюдження нижньопермських галогенових порід. Об'єкти вибудовуються низкою по зоні виклинювання порід микитівської світи нижньої пермі та у зонах розвитку розривних порушень (Котелевське ГКР, Березівське ГКР, Абазівське ГКР, Семенцівське ГКР). Це може опосередковано свідчити про генетичний зв'язок підвищеного радіаційного фону родовищ з супутніми пластовими водами, які є середою міграції розчиненого радону. Відомим фактом є підвищений вміст радону у джерелах, що розташовані в зоні відкритих палеозойських структур (курорти м.Слав'янська з радоновими водами), що належать до єдиного артезіанського басейну з супутніми водами родовищ вуглеводнів, де були зафіксовані підвищені показники фонових значень радіоактивності.

Підтвердженням можливості існування зв'язку радіоаномалій з міграцією розчиненого радону є «особлива» ситуація з родовищами у нижньопермсько-верхньокам'яновугільному газоносному комплексі. Відомо, що переважна більшість родовищ, приурочених до порід цього комплексу не має водної складової та гідродинамічних зв'язків з оточуючими породами, через що на них не було встановлено підвищених показників радіаційного фону під час буріння.

Крім того, при вивченні природи радіогеохімічних аномалій слід враховувати фактор вмісту вільного радону у породах колекторів та покришок. Так, наприклад, для пісковиків вміст радону в середньому дорівнює 133 Бк/м³, а для глин вже сягає 200 Бк/м³.

Висновки.

Наведені факти вказують на необхідність подальшого ретельного вивчення питання зв'язку радіогеохімічних аномалій з покладами вуглеводнів, що може бути використано для розробки принципово нового методу пошуку покладів ВВ. Як було зазначено вище, важливим фактором для аналізу значення показника радіогеохімічної аномалії є геологічна та гідрогеологічна ситуація на кожній конкретній ділянці надр, що потребує комплексного підходу та використання обчислювальної техніки.

Сучасний рівень розвитку комп'ютерної техніки та програмного забезпечення дає змогу за допомогою трьох вимірних моделювання та паралельної статистичної обробки великих масивів інформації [26-33] здійснити співставлення даних по аномаліях поверхневого радіаційного фону, глибинних аномаліях (виявлених по свердловинах), літології та тектоніці нафтогазоносних районів і виділити закономірності, що вказують на наявність покладів вуглеводнів. Спрощена схема обробки похідних неструктурованих даних може виглядати наступним чином: набуті під час спостережень статистичні дані за допомогою методів синтезу та інтерполяції (картографічні методи, SQL-запроси,

обчислення середніх значень, районування, бальна оцінка, статистичний аналіз, кореляційний аналіз, тощо) перетворюються на єдину базу даних яка складається з однорідної структурованої інформації. Ця інформація обробляється аналітиком з використанням еталонних об'єктів та створюється «шаблон закономірностей» змін значень, що відповідає наявності на даній ділянці покладу вуглеводнів. На даному етапі роботи важливим є врахування всіх наявних геоданих та визначення таких коефіцієнтів взаємозв'язків між ними, що можуть викривляти чи спотворювати отримані результати. Як приклад можна навести зменшення зафіксованих значень радіоактивності над склепінням покладу через літологічний склад пастки: збільшення глинистості на крилах – дає збільшення значень фону, а пісковитість склепіння, навпаки, приводить до зменшення фонових значень.

В подальшому розроблений «шаблон закономірностей» можна буде використовувати для прогнозу покладів вуглеводнів на територіях, що не достатньо вивчені бурінням і таким чином здешевити пошуково-розвідувальний процес на нафту і газ.

Крім того, процес розробки описаної вище методики з пошуку «шаблону закономірностей» дасть змогу більш глибоко зрозуміти зв'язок між вуглеводневими скупченнями та радіогеохімічними аномаліями, що фіксуються на поверхні. Адже, як видно з підрозділу «Аналіз останніх досліджень і публікацій» на даний момент ще не існує сформованого розуміння суті цього явища, а саме явище безперечно є. Складна фізика процесу розпаду та розподілу радіоактивних елементів, та, як наслідок, перетворення фазового складу вуглеводнів (радіоліз) потребує проведення міждисциплінарних геолого-радіофізичних досліджень, що зможуть дати розуміння процесів.

Література

1. U.S. Bureau of Mines, Radiometric exploration for oil (translated from a Russian paper), USBM Circular 6072, 1928, pp. 13-18.
2. Богоявленский Л.Н. Радиометрическая разведка нефти // Известия института прикладной геофизики ВСХ СССР. – 1927 – вып.3. – С.113-122.
3. Armstrong, F.E., and Heemstra, R.J., Radiation halos and hydrocarbon reservoirs: a review, U.S. Bureau of Mines Information Circular 8579, 1973.
4. Lundberg H. Isford G. Oil prospecting with the radioactive method // World Petroleum. – 1953 – June 2. – P.40-42
5. Lundberg H. Low radiation over oil fields // Oil and Gas Journal. 1956. V. 54.
6. Алексеев Ф.А. Радиометрический поиск нефти, состояние разработки метода и опыт его применения // Разведка и разработка полезных ископаемых: Труды Всес. научно-техн. конф. по применению радиоактивных и стабильных изотопов и излучений в народном хозяйстве и науке. — М.: Гостоптехиздат, 1958. — С. 51—56.

7. Алексеев Ф.А., Готтих Ф.П., Воробьева В.Я. Закономерности в распределении радиоактивных элементов и естественного гамма поля радиоактивных областей (к вопросу о природе радиометрических аномалий) // труды ВНИИЯГТ. – М.: Недра, 1968. – Вып.2. – С.3-122
8. Davidson M.J. On the acceptance and rejection of surface geochemical exploration // Oil and Gas Journal. – 1994. – June 6. – P. 70–76.
9. Соболев И.С. Методы радиогеохимии при наземных поисках месторождений нефти и газа // Известия томского политехнического института – 2007. Т.311. №1 с.90-96
10. Morse J.G., Rana M.H. New perspectives on radiometric exploration for oil and gas // Oil and Gas Journal. – 1983. – June 6. – P. 87–90.
11. Sanders D.F., Tompson C.K. Integrated exploration improves wildcat success (Part I) // World Oil. – 1987. – September. – P. 36–45.
12. Sikka D.B., Shives R.B.K. Radiometric surveys of the Redwater oil field, Alberta: Early surface exploration case history suggest mechanism for the development of hydrocarbon – related geochemical anomalies / Applications of geochemistry, magnetics, and remote sensing, D. Shumacher and L.A. LeSchak, eds., AAPG Studies in Geology № 48 and SEG Geophysical References Series № 11. – 2002. – P. 243–297.
13. Collins B.I., Tedesco S.A., Martin W.F. Integrated petroleum project evaluation – three examples from the DenverJulesburg Basin, Colorado // Journal of Geochemical Exploration. – 1992. – № 43. – P. 67–89.
14. Morse J.G., Rana M.H., Morse L. Radon mapping as indicators of subsurface oil and gas // Oil and Gas Journal. – 1982. – May 10. – P. 227–246
15. Kilmer C. Radiation lows over productive areas seen as soil geochemical phenomenon // Oil and Gas Journal. – 1983. – July 25. – P. 179–184.
16. Saunders D.F., Burson K.R., Branch J.F., Thompson C.K. Relation of thoriumnormalized surface and aerial radiometric data to subsurface petroleum accumulations // Geophysics. – 1993. – V. 58. – № 10. – P. 1417–1427.
17. Соболев И.С., Меркулов В.П., Рихванов Л.П. Некоторые методические аспекты поисков месторождений нефти и газа радиогеохимическими методами // Геология и охрана недр. – 2004. – № 2(11). – С. 57–65.
18. Siegel F.R., Hu Decheng, Vaz J.E., Wang Zaiming, Viterito A., Areal thermoluminescence radiometric survey of Shengping oil using buried dosimeters // Oil and Gas Journal. – 1989. – July 3. – P. 53–57.
19. Wang Z., Qin D., Zhuang G., Zha Z., Wang S., Shen W., Cai G. Application of thermoluminescence dosimetry in the exploration for oil and gas using Chinese GR200 LiF (Mg,Cu,P) TLD // Radiation Protection Dosimetry. – 1993. – V. 47. – № 1/4. – P. 323–326.
20. Лазарев Ф.Д. Прогнозирование скоплений углеводородов по данным комплексных аэрогеофизических исследований (на примере западной части ЕнисейХатангского прогиба): Дис. ... канд. геол.-мин. наук. – Томск, 2001. – 130 с.
21. Соболев И.С., Рихванов Л.П., Лященко Н.Г., Паровинчак М.С. Прогнозирование и поиски месторождений нефти и газа радиогеохимическими методами // Геология нефти и газа. – 1999. – № 7–8. – С. 19–24.
22. Столбов Ю.М., Парыгин К.Д. О целесообразности комплексирования лиогеохимических поисков залежей углеводородов с сейсморазведочными работами на территории Томской области // Горногеологическое образование в Сибири. 100 лет на службе науки и производства: Матер. Междунар. Научно-техн. конф., секция «Геологическое и горное образование. Геология нефти и газа». – Томск, 2001. – С. 264–265.
23. Siegel F.R., Chen R., Vaz J.E., Mathur V.K. The integrated radiation environment at well sites – an adjunct to petroleum exploration // Oil and Gas Journal. – 1997. – October 6. – P. 91–96.
24. Yanaki N.E., Ashery D., Kronfeld J. Careful analysis reveals root cause of gamma ray anomalies // World Oil. – 2000. – October. – P. 81–83.
25. Reddy A.S., Rao N.V. Radiation anomaly correlation helpful in KrishnaGodavari basin // Oil and Gas Journal. – 2002. – April 15. – P. 38–42.
26. Johnson C. R., Moorhead R., Munzner T., Pfister H., Rheingans P., and T. S. Yoo, Eds., NIH-NSF Visualization Research Challenges Report, IEEE Press, ISBN 0-7695-2733- 7, 2006, <http://vgtc.org/wpmu/techcom/national-initiatives/nihnsf-visualizationresearch-challenges-report-january-2006>, doi: 10.1109/MCG.2006.44.
27. NSF Blue Ribbon Panel Report on Simulation-Based Engineering Science (J. T. Oden, T. Belytschko, J. Fish, T. Hughes, C. R. Johnson, D. Keyes, A. Laub, L. Petzold, D. Srolovitz, and S. Yip), «Simulation-Based Engineering Science», 2006, www.nd.edu/~dddas/References/SBES_Final_Report.pdf.
28. NIH-NSF Visualization Research Challenges, <http://erie.nlm.nih.gov/evc/meetings/vrc2004>.
29. Pascucci V., Laney D. E., Frank R. J., Gygi F., Scorzelli G., Linsen L., and Hamann B., «Real-time monitoring of large scientific simulations», SAC, pp. 194–198, ACM, 2003, doi: 10.1.1.66.9717.
30. Davidson S. B. and Freire J., «Provenance and scientific workflows: challenges and opportunities», Proc. ACM SIGMOD, pp. 1345–1350, 2008, doi: 10.1.1.140.3264.
31. Freire J., Koop D., Santos E., and Silva C., «Provenance for computational tasks: A survey», Comput. Sci. Eng, vol. 10, no. 3, pp. 11–21, 2008, doi: 10.1109/MCSE.2008.79.
32. Freire J., Silva C. T., Callahan S. P., Santos E., Scheidegger C. E., and Vo H. T., «Managing rapidly-evolving scientific workflows», International Provenance and Annotation Workshop (IPAW), LNCS 4145, pp. 10–18, 2006, doi: 10.1.1.117.5530.
33. Silva C., Freire J., and Callahan S. P., «Provenance for visualizations: Reproducibility and beyond», IEEE Comput. Sci. Eng., 2007, doi: 10.1109/MCSE.2007.106.