

Залежність магнітудних оцінок від потужностей хімічних вибухів на промислових кар'єрах у межах Українського щита

Ю.А. Андрущенко, В.І. Осадчий, О.І. Лящук, І.В. Корнієнко, 2018

Головний центр спеціального контролю НЦ УВКЗ ДКА України, смт Городок, Україна

Надійшла 3 березня 2018 р.

В пределах Украинского щита основными источниками наведенной сейсмичности являются многочисленные взрывные работы на предприятиях открытой и подземной добычи минеральных ресурсов. Сейсмическими станциями Главного центра специального контроля Государственного космического агентства Украины и сетью сейсмических станций Института геофизики НАН Украины ежегодно регистрируются тысячи промышленных взрывов на открытых карьерах и в шахтах, значение магнитуды mb которых превышает 0,5. На основе анализа сейсмических сигналов, зарегистрированных станциями сейсмологической сети Главного центра специального контроля Государственного космического агентства Украины определены соотношения магнитуд (M) и мощностей (Y) взрывов на промышленных карьерах Киевской, Житомирской, Винницкой, Ривненской, Хмельницкой и Черкасской областей. По результатам анализа зависимости $M=f(Y)$ для каждого из исследованных карьеров рассчитано усредненное соотношение между магнитудами и мощностями взрывов. Данное соотношение можно считать справедливым для условий Украинского щита и в дальнейшем использовать при оценке влияния взрывных работ на людей и окружающую среду.

Ключевые слова: сейсмическая станция, сейсмический сигнал, промышленный взрыв, магнитуда, мощность, энергетический класс, Украинский щит.

Вступ. Глобальний потік сейсмічної енергії формують як природні, так і техногенні джерела. Природними джерелами сейсмічних коливань є землетруси різного рівня, штормові хвилі на морях і океанах, тривалі виверження вулканів, падіння космічних тіл, обвали гірських схилів та інші природні події.

Серед техногенних джерел, що беруть участь у формуванні глобального потоку сейсмічної енергії, слід виділити такі основні групи:

- численні вибухові роботи в різних галузях промисловості;
- постійно діючі джерела вібрації (заліз-

ниця, транспорт, автотранспорт, генератори та насоси гідроелектростанцій і промислові підприємства та ін.);

- тимчасово увімкнені виробничі джерела сейсмічних коливань: бурові і качалки (установки нафтогазового і гірничодобувного комплексів), скидання води на гідроелектростанціях, операції ударного, ударно-бурового впливу на ґрунт на будівництвах і промислових майданчиках тощо.

У межах Українського щита (УЩ) основними джерелами наведеної сейсмічності є численні вибухові роботи на підприємствах відкритого і підземного видо-

бутку мінеральних ресурсів. Сейсмічними станціями Головного центру спеціального контролю Державного космічного агентства України (ГЦСК ДКАУ) та мережею сейсмічних станцій Інституту геофізики НАН України щорічно реєструються тисячі промислових вибухів на відкритих кар'єрах і в шахтах, значення магнітуд m_b яких перевищує 0,5. У статті [Кутас та ін., 2014] наведено результати обробки записів вибухів, зареєстрованих сейсмічними станціями ГЦСК. Розглянуто сейсмічний ефект, описаний у значеннях магнітуди m_b та енергетичного класу K , залежно від маси зарядів і проведення вибухів у різних інтервалах глибин шахти.

У західній частині УЩ основну кількість вибухів виконують у кар'єрах, на Волинському мегаблоці і у північній частині Подільського мегаблока (Рівненська та Житомирська області). Дещо менший обсяг вибухових робіт здійснюють у центральній та південній частинах Подільського мегаблока (Хмельницька та частково Житомирська області). У центральній частині УЩ вибухові роботи проводять в основному на підприємствах Кривого Рогу, розташованих у межах Інгульського мегаблока.

Сейсмічний ефект від промислових вибухів залежить як від потужності заряду, так і від особливостей району виконання вибухових робіт. З огляду на це виникла потреба у визначенні залежностей магнітуд і потужностей вибухів на окремих промислових кар'єрах з метою подальшого оцінювання їх наслідків.

Оцінювання внеску вибухових робіт у сейсмічність. Загальносвітове споживання вибухових речовин промисловими підприємствами, за даними міжнародної фірми "Глобальна аналітична асоціація", становить близько 11 млн т/рік [Колганов, Соснин, 2006]. З багаторічного досвіду вивчення підземних вибухів відомо, що основна частина енергії ви-

буху, більш як 95 %, витрачається в його епіцентральної зоні на дроблення, руйнування, пластичне деформування, переміщення, нагрівання, ущільнення і розущільнення породи і менше 5% передається в зону пружних деформацій, включаючи утворення сейсмічних коливань [Родионов и др., 1971]. У відповідності до закону збереження енергії

$$E = E_{\text{др}} + E_{\text{с}} + E_{\text{д}},$$

де E — сумарна потенціальна енергія заряду вибухової речовини; $E_{\text{др}}$ — частка енергії, що не витрачається на корисну дію під час вибуху (нагрівання породи та води, виникнення ударної та звукової хвиль, розлітання породи тощо); $E_{\text{с}}$ — частка енергії, що йде на утворення сейсмічних хвиль; $E_{\text{д}}$ — частка енергії, що йде на дроблення породи.

Пружна енергія, яка бере участь в утворенні сейсмічних коливань у результаті вибуху, тобто випромінювана сейсмічна енергія, залежить як від маси вибухової речовини, так і від фізико-механічних властивостей гірської породи та її міцності. Відомі результати експериментальних і теоретичних робіт [Haskell, 1967], в яких для широкого спектра порід визначено частку енергії вибуху, що переходить в енергію сейсмічних коливань (сейсмічний коефіцієнт корисної дії (ККД) підземного вибуху).

Так, у твердих скельних породах (граніт, ріоліт, доломіт, сланець і та ін.) сейсмічний ККД становить 1—3 %, у пористому туфі — 0,3—1,2 %, у м'яких ґрунтах типу алювію і супісків — 0,05—0,2 %. Оскільки вибухові роботи при видобутку твердих корисних копалин проводять у скельних породах, прийmemo для оцінок випромінюваної сейсмічної енергії сейсмічний ККД, що дорівнює 2 %, спираючись у тому числі на відповідні розрахунки відношення сейсмічної енергії до повної енергії вибуху, що наведені у

статті [Perret, 1972]. У такому разі співвідношення між випромінюваною при підземному вибуху сейсмічною енергією і масою вибухової речовини набуває вигляду

$$E_c = 0,02m\varepsilon,$$

де E_c — випромінювана при підземному вибуху сейсмічна енергія; ε — питома енергія вибуху; m — маса вибухової речовини.

У середньому питома енергія вибуху штатних вибухових речовин характеризується величиною $\varepsilon = 4188$ кДж (питома енергія вибуху тротилу), тобто під час вибуху 1 кг вибухової речовини виділяється енергія 4,19 МДж (1 кал — 4,19 Дж).

У масштабі всієї земної кулі глобальний потік сейсмічної енергії, що утворюється вибуховими роботами, приблизно на 2 порядки менший за середньорічний потік сейсмічної енергії природних землетрусів. Цей факт у цілому відповідає сталим уявленням про те, що природна сейсмічність інтенсивніша і значно небезпечніша, ніж сейсмічні впливи різного роду вибухових робіт, проте останні часто бувають відомі своїми локальними руйнівними наслідками.

Співвідношення магнітудних оцінок і потужностей вибухів для гранітних промислових кар'єрів на території УЩ. Хімічні вибухи, які широко застосовують у процесі розробки корисних копалин, при будівництві різноманітних народногосподарських об'єктів, різняться як за потужностями, так і за умовами проведення. Результати детального вивчення залежності ефективності при хімічних вибухах від умов їх виконання наведено у статті [Khalturin et al., 1998].

У радянській практиці обробки сейсмічних даних широкого поширення набула класифікація подій за енергетичним класом K , введена Т.Г. Раутиан [Раутиан, 1964]. В останні роки цю класифікацію

застосовують і для хімічних вибухів, у тому числі слабких, оскільки вона дає змогу розраховувати відстані починаючи від 10 км.

При визначенні енергетичного класу події використовують максимальну амплітуду в P - і S -фазах сейсмічних коливань на короткоперіодних каналах. Далі для розрахунку застосовуємо формулу

$$K = 1,8 \lg (A_P + A_S) + \sigma(\Delta), \quad (1)$$

де A_P і A_S — максимальні амплітуди P - і S -хвиль, мкм; $\sigma(\Delta)$ — калібрувальна функція для $A_P + A_S$ у діапазоні відстаней від 10 до 3000 км:

$$K = \lg(E), \quad (2)$$

де E — енергія, що випромінюється в результаті сейсмічної події.

Магнітуду M знаходимо за формулою

$$M = (K - 4) / 1,8. \quad (3)$$

У статті [Khalturin et al., 1998] наведено залежність між енергетичним класом K і потужністю хімічних вибухів Y :

$$K = 1,55 \lg(Y) + 7. \quad (4)$$

Залежність $K = f(Y)$ визначено експериментально за результатами аналізу великої кількості хімічних вибухів, проведених у різних регіонах колишнього СРСР, включаючи Семипалатинський випробувальний полігон.

З урахуванням формул (3) і (4) отримаємо залежність між магнітудами M і потужностями Y хімічних вибухів, яку вважатимемо еталонною:

$$M = 0,861 \lg(Y) + 1,667. \quad (5)$$

Для визначення залежності між магнітудними оцінками і потужностями промислових вибухів на гранітних кар'єрах

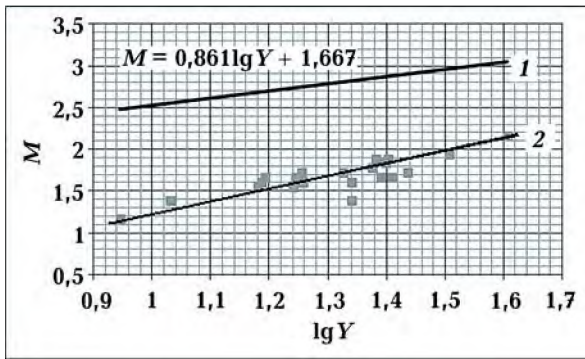


Рис. 1. Залежності магнітуд від потужностей для експериментальних (1) і промислових (2) вибухів на Бехівському гранітному кар'єрі.

у межах УЩ використано статистичні дані щодо масових вибухів ЗАТ "Західукр-вибухпром". Потужність вибухів становила від декількох одиниць до декількох десятків тонн.

На підставі цих даних визначено співвідношення магнітуд і потужностей вибухів для 33 гранітних промислових кар'єрів Київської, Житомирської, Вінницької, Рівненської, Хмельницької, Черкаської областей. У результаті аналізу отриманих співвідношень виявлено значні дефіцити магнітуд досліджених промислових вибухів порівняно з даними експериментальних вибухів за однакової кількості вибухової речовини. Як приклад на рис. 1 показано еталонну залежність $M = f(Y)$ для експериментальних вибухів і залежність магнітуд від потужностей вибухів для Бехівського гранітного кар'єру (Житомирська обл., Коростенський р-н, с. Бехи).

У таблиці наведено визначені співвідношення магнітуд і потужностей вибухів для кожного з досліджених промислових кар'єрів, а також дефіцити магнітуд для кожного з кар'єрів порівняно з еталонними значеннями.

За результатами аналізу залежності $M = f(Y)$ для кожного з досліджених кар'єрів розраховано усереднене співвідношен-

ня між магнітудами і потужностями вибухів (рис. 2):

$$M = 0,861 \lg(Y) + 0,784. \quad (6)$$

Це співвідношення можна вважати справедливим для умов УЩ і в подальшому використовувати під час оцінювання наслідків проведення вибухових робіт.

Висновки. Хімічні вибухи широко застосовують у процесі розробки корисних копалин та під час будівництва різноманітних народногосподарських об'єктів.

Сейсмічний ефект від промислових вибухів залежить як від потужності заряду, так і від особливостей району проведення вибухових робіт.

Пружна енергія як складова процесу утворення сейсмічних коливань у результаті вибуху, тобто випромінювана сейсмічна енергія, залежить від маси вибухової речовини, фізико-механічних властивостей гірської породи та її міцності.

На підставі аналізу співвідношень магнітуд і потужностей вибухів на промислових кар'єрах Київської, Житомирської, Вінницької, Рівненської, Хмельницької та Черкаської областей визначено середньостатистичну залежність $M = f(Y)$, яку в подальшому можна використовувати під час оцінювання впливу вибухових робіт на людей та навколишнє середовище в умовах УЩ.

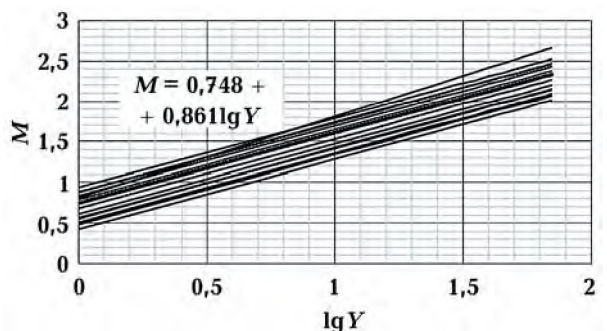


Рис. 2. Залежності магнітуд від потужностей вибухів на промислових кар'єрах, розташованих у межах Українського щита.

Співвідношення магнітуд і потужностей масових вибухів на гранітних промислових кар'єрах, розташованих у межах Українського щита

| Кар'єр | Потужність Y , т | Магнітуда M min—max | Дефіцит, ΔM середня | Співвідношення M/Y |
|---------------------------------------------------------------------|-----------------------|-----------------------------|-----------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| <i>Київська обл.</i> | | | | |
| Білоцерківський (с. Глибичка) | 20,39—26,2 | 1,8—1,9 | 0,989 | — |
| Богуславський (м. Богуслав) | 7,51—12,11 | 1,6—1,8 | 0,851 | — |
| Плисецький, Васильківський р-н, с. Плисецьке | 8,51—14,37 | 1,2—1,6 | 1,165 | $M = 0,502 + 0,861 \lg(Y)$, $Y = 10^{(M - 0,502) / 0,861}$ |
| Рокитнянський (спецкар'єр, сміт Рокитне) | 4,56—26,87 | 1,2—2,1 | 0,789 | $M = 0,878 + 0,861 \lg(Y)$, $Y = 10^{(M - 0,878) / 0,861}$ |
| Ольшаницький (спецкар'єр, Рокитнянський р-н, с. Ольшаниця) | 12,77 | 1,8 | 0,828 | $M = 0,839 + 0,861 \lg(Y)$, $Y = 10^{(M - 0,839) / 0,861}$ |
| Коціївський (Фастівський р-н, с. Коціївка) | 6,00—9,48 | 1,3—1,4 | 1,055 | $M = 0,612 + 0,861 \lg(Y)$, $Y = 10^{(M - 0,612) / 0,861}$ |
| Ярошівський (Фастівський р-н, с. Ярошівка) | 6,86—19,21 | 1,4—1,6 | 1,186 | $M = 0,481 + 0,861 \lg(Y)$, $Y = 10^{(M - 0,481) / 0,861}$ |
| <i>Хмельницька обл.</i> | | | | |
| Старокостянтинівський (спецкар'єр, с. Красносілка) | 10,26—26,59 | 1,6—2,1 | 0,82 | $M = 0,847 + 0,861 \lg(Y)$, $Y = 10^{(M - 0,847) / 0,861}$ |
| Майдан-Вільський (Полонський р-н, с. Новаки) | 6,76 | 1,3 | 1,048 | $M = 0,619 + 0,861 \lg(Y)$, $Y = 10^{(M - 0,619) / 0,861}$ |
| Шепетівський (с. Судилків) | 14,15—4,65 | 1,7—1,9 | 0,846 | $M = 0,821 + 0,861 \lg(Y)$, $Y = 10^{(M - 0,821) / 0,861}$ |
| <i>Черкаська обл.</i> | | | | |
| Хлистунівський (Городищенський р-н, с. Хлистунівка) | 21,18 — 51,28 | 1,7—2,3 | 0,993 | $M = 0,674 + 0,861 \lg(Y)$, $Y = 10^{(M - 0,674) / 0,861}$ |
| Старобабанівський (Уманський р-н, с. Старі Бабани) | 35,27 | 2,4 | 0,61 | $M = 0,057 + 0,861 \lg(Y)$, $Y = 10^{(M - 0,057) / 0,861}$ |
| <i>Вінницька обл.</i> | | | | |
| Іванівський (спецкар'єр, Калинівський р-н, с. Іванів) | 11,92—15,31 | 1,8—2 | 0,727 | $M = 0,94 + 0,861 \lg(Y)$, $Y = 10^{(M - 0,94) / 0,861}$ |
| Грабовецький (Немирівський р-н, с. Гранітне) | 16,03 | 1,9 | 0,76 | $M = 0,907 + 0,861 \lg(Y)$, $Y = 10^{(M - 0,907) / 0,861}$ |
| Писарівський (Калинівський р-н, с. Писарівка) | 6,11—24,14 | 1,7—2,1 | 0,707 | $M = 0,96 + 0,861 \lg(Y)$, $Y = 10^{(M - 0,96) / 0,861}$ |
| Стрижавський (сміт Стрижавка) | 13,47—24,49 | 1,7—2,1 | 0,876 | $M = 0,791 + 0,861 \lg(Y)$, $Y = 10^{(M - 0,791) / 0,861}$ |

Закінчення таблиці

| <i>Рівненська обл.</i> | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------|-------------|---------|-------|---------------------------------------------------------------|
| Полицьке родовище граніту (Володимирський р-н, с. Полиці) | 12,41—19,48 | 2,1—2,2 | 0,525 | $M = 0,142 + 0,861 \lg(Y),$ $Y = 10^{(M - 0,142) / 0,861}$ |
| Вирівський (Сарненський р-н, с. Вири) | 4,33—24,79 | 1,5—2,0 | 0,839 | $M = 0,828 + 0,861 \lg(Y),$ $Y = 10^{(M - 0,828) / 0,861}$ |
| Клесівський (Сарненський р-н, смт Клесів) | 19,36 | 2 | 0,775 | $M = 0,892 + 0,861 \lg(Y),$ $Y = 10^{(M - 0,892) / 0,861}$ |
| Соснівський (Сарненський р-н, с. Селище) | 20,05 | 1,9 | 0,899 | $M = 0,768 + 0,861 \lg(Y),$ $Y = 10^{(M - 0,768) / 0,861}$ |
| <i>Житомирська обл.</i> | | | | |
| Бехівський (Коростенський р-н, с. Беги) | 8,81—40,35 | 1,2—2,2 | 1,109 | $M = 0,558 + 0,861 \lg(Y),$ $Y = 10^{(M - 0,558) / 0,861}$ |
| Бехівський (спецкар'єр, Коростенський р-н, с. Васьковичі) | 7,47—28,81 | 1,2—2,1 | 1,104 | $M = 0,563 + 0,861 \lg(Y),$ $Y = 10^{(M - 0,563) / 0,861}$ |
| Гулянецький (Коростенський р-н, с. Бондарівка) | 10,52—17,63 | 1,7—1,9 | 0,79 | $M = 0,877 + 0,861 \lg(Y),$ $Y = 10^{(M - 0,877) / 0,861}$ |
| Щорсівський (Коростенський р-н, с. Білошиці) | 10,99—24,49 | 1,7—1,9 | 0,88 | $M = 0,787 + 0,861 \lg(Y),$ $Y = 10^{(M - 0,787) / 0,861}$ |
| Новгородецький (Коростишівський р-н, с. Новогородецьке) | 14,65—40,66 | 1,6—1,7 | 1,243 | $M = 0,424 + 0,861 \lg(Y),$ $Y = 10^{(M - 0,424) / 0,861}$ |
| Нововолинський (Новоград-Волинський р-н, с. Сусли) | 10,66—26,17 | 1,5—2,3 | 0,733 | $M = 0,934 + 0,861 \lg(Y),$ $Y = 10^{(M - 0,934) / 0,861}$ |
| Овруцький щебзавод, (Овруцький р-н, с. Бондарі) | 7,09—23,78 | 1,3—2,1 | 0,926 | $M = 0,741 + 0,861 \lg(Y),$ $Y = 10^{(M - 0,741) / 0,861}$ |
| Норинський (Овруцький р-н, с. Норинськ) | 20,87—27,56 | 1,7—2,1 | 0,984 | $M = 0,683 + 0,861 \lg(Y),$ $Y = 10^{(M - 0,683) / 0,861}$ |
| ТОВ «Малодивлинський гранкар'єр» (Лугинський р-н, с. Малий Дивлин) | 4,85 | 1,4 | 0,813 | $M = 0,854 + 0,861 \lg(Y),$ $Y = 10^{(M - 0,854) / 0,861}$ |
| ВАТ «Лизниківський гранітний кар'єр» (Хорошівський р-н, с. Червоногранітне) | 14,31—35,42 | 1,4—1,9 | 1,164 | $M = 0,503 + 0,861 \lg(Y),$ $Y = 10^{(M - 0,503) / 0,861}$ |
| Гранітний (Черняхівський р-н, с. Пекарщина) | 12,78—22,16 | 1,4—1,7 | 1,138 | $M = 0,529 + 0,861 \lg(Y),$ $Y = 10^{(M - 0,529) / 0,861}$ |
| ТДВ «Березівський кар'єр» (Житомирський р-н, с. Березівка) | 7,87—15,36 | 1,4—1,8 | 0,922 | $M = 0,745 + 0,861 \lg(Y),$ $Y = 10^{(M - 0,745) / 0,861}$ |
| Давидівський (Житомирський р-н, с. Давидівка) | 13,24—14,74 | 1,8—1,9 | 0,792 | $M = 0,875 + 0,861 \lg(Y),$ $Y = 10^{(M - 0,875) / 0,861}$ |

Список літератури

- Колганов Е. В., Соснин В. А. Состояние и перспективы развития промышленных ВВ. *Горный журн.* 2006. № 5. С. 12—16.
- Кутас В. В., Андрущенко Ю. А., Калитова И. А. Промышленные взрывы и сейсмичность Украинского щита. *Геофиз. журн.* 2014. Т. 36. № 6. С. 165—172. doi: <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v36i6.2014.111055>.
- Раутиан Т. Г. Об определении энергии землетрясений на расстояниях 3000 км. *Труды ИФЗ АН СССР.* 1964. № 32 (199). С. 72—98.
- Родионов В. Н., Агушкин В. В., Костюченко В. Н. Механический эффект подземного взрыва. Москва: Недра, 1971. 224 с.
- Khalturin V. I., Rautian T. G., Richards P. G., 1998. The seismic signal strength of chemical explosions. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 88 (6), 1511—1524.
- Haskell N. A., 1967. Analytic approximation for the elastic radiation from a combined underground explosion. *J. Geophys. Res.*, 72 (10), 2583—2589.
- Perret W. R., 1972. Seismic-source energies of underground nuclear explosions. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 62, 763—774.

Dependence of magnitude evaluation of chemical exposure characteristics at industrial careers within the boundaries of the Ukrainian Shield

Yu. A. Andrushchenko, V. I. Osadchy, O. I. Lyashchuk, I. V. Kornienko, 2018

Within the boundaries of the Ukrainian Shield, the main sources of induced seismicity are numerous blasting operations at open and underground minerals mining enterprises. Seismic stations of the Main Center for Special Control of the State Space Agency of Ukraine (GTSSK DSAU) and a network of seismic stations of the Institute of Geophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine annually record thousands of industrial explosions in open quarries and mines, whose magnitude mb exceeds 0,5. Based on the analysis of seismic signals registered by the stations of the seismological network of the Main Center for Special Control, the State Space Agency of Ukraine, the ratios of magnitudes (M) and capacity (Y) of explosions were determined on industrial quarries of Kyiv, Zhytomyr, Vinnitsa, Rivne, Khmelnytsky and Cherkasy regions. According to the analysis of the dependence $M=f(Y)$ for each of the investigated quarries, the average ratio between the magnitudes and the explosive capacities was calculated. This ratio can be considered fair for the conditions of the Ukrainian Shield and further used in assessing explosive work on people and the environment.

Key words: seismic station, seismic signal, industrial explosion, magnitude, power, energy class, Ukrainian Shield.

References

- Kolganov Ye. V., Sosnin V. A.*, 2006. Status and prospects of the development of industrial explosives. *Gornyy zhurnal*, (5), 12—16 (in Russian).
- Kutas V. V., Andrushchenko Yu. A., Kalitova I. A.*, 2014. Industrial explosions and seismicity of the Ukrainian Shield. *Geofizicheskiy zhurnal*, 36 (6), 165—172 (in Russian). doi: <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v36i6.2014.111055>.
- Rautian T. G.*, 1964. About determination of energy of earthquakes at distances of 3000 km. *Trudy IFZ AN SSSR*, (32), 72—98 (in Russian).
- Rodionov V. N., Adushkin V. V., Kostyuchenko V. N.*, 1971. Mechanical effect of underground explosion. Moscow: Nedra, 224 p. (in Russian).
- Khalturin V. I., Rautian T. G., Richards P. G.*, 1998. The seismic signal strength of chemical explosions. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 88 (6), 1511—1524.
- Haskell N. A.*, 1967. Analytic approximation for the elastic radiation from a combined underground explosion. *J. Geophys. Res.*, 72 (10), 2583—2589.
- Perret W. R.*, 1972. Seismic-source energies of underground nuclear explosions. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 62, 763—774.