

© А.М. Коваль

канд. геол. наук

М.В. Тищенко

М.П. Рогачук

Ю.А. Василюк

С.В. Оломський

ДП «Науканафтогаз»

Національної акціонерної компанії

«Нафтогаз України»

## Особливості введення апріорних статичних поправок за ЗМШ у нафтогазоносних регіонах України

УДК 550.834.3

У статті розглянуто проблему виникнення похибок під час вивчення геологічного розрізу нафтогазоносних територій за рахунок існування зон малих швидкостей (ЗМШ) у верхній частині розрізу (ВЧР), а також основні чинники, які спричиняють періодичні коливання потужності ЗМШ у різних нафтогазоносних регіонах України. Наголошується на необхідності всебічного вивчення ВЧР та розроблення методики отримання апріорних статичних поправок за ЗМШ з максимально можливою точністю залежно від ландшафтно-геоморфологічних і геологічних умов.

**Ключові слова:** сейсморозвідка, пластова швидкість, зона малих швидкостей.

В статье рассмотрена проблема возникновения погрешностей при изучении геологического разреза нефтегазоносных территорий за счет существования зон малых скоростей (ЗМС) в верхней части разреза (ВЧР), а также основные факторы, в результате которых возникают периодические колебания мощности ЗМС в разных нефтегазоносных провинциях Украины. Обращается внимание на необходимости всестороннего изучения ВЧР и разработки методики получения априорных статических поправок за ЗМС с максимальной возможной точностью в зависимости от ландшафтно-геоморфологических и геологических условий.

**Ключевые слова:** сейсморазведка, пластовая скорость, зона малых скоростей.

The paper features a problem of errors origin while studying sedimentary column of petroleum provinces due to low-velocity zones (LVZ or seismic weathering zone) in the upper part of sedimentary column (UPSC) as well as main factors governing periodical oscillations of LVZ thickness in different petroleum-bearing regions in Ukraine. The need for comprehensive studying of UPSC and developing of the technique to acquire a priori static corrections for LVZ with maximal attainable accuracy depending on landscape-geomorphic and geological settings is noticed.

**Key words:** seismic prospecting, layer velocity, low velocity zone.

Однією з основних проблем під час виконання структурних побудов за результатами сейсмічних досліджень МСГТ є вивчення особливостей будови ВЧР, яка істотним чином може вплинути на сейсмічну інформацію, що надходить від цільових глибинних горизонтів.

Параметрами часового розрізу є амплітуда і час. Амплітуда, або залежність  $A(x, t)$ , визначає відхилення реального середовища від ідеально однорідного та ідеально пружного, що пропускає сейсмічний сигнал без спотворень. В ідеально пружному середовищі  $A(x, t)=0$  із точністю до фону мікросейсм за будь-якого джерела сигналів. Але якщо геологічне середовище ділиться на верстви, на границях яких властивості порід суттєво змінюються, то сигнал, що розповсюджується в такому середовищі, реагує на відповідні границі товщ (заломленням, розсіюванням та відбиттям) і на самі породні товщі, які вже не є акустично прозорими та розділяються за своїми акустичними властивостями або акустичною жорсткістю.

Як зазначається в роботі [2], вирішення проблеми введення статичних поправок полягає у розв'язанні двох задач.

Перша задача полягає в тому, що, вивчаючи фізичне (геологічне) середовище, необхідно пам'ятати про те, що потрібно знання не часу якої-небудь події (наприклад, акта відбиття), а його місцезнаходження в середовищі, тобто в площині  $(x, z)$ . Було б простіше, якби швидкісні неоднорідності з'являлися тільки на великих глибинах і не спотворювали б основної частини розрізу. На практиці ситуація здебільшого складається навпаки: ВЧР на

більшій частині території являє собою вкрай неоднорідне геологічне середовище, введення поправок за суттєві зміни швидкостей поширення акустичного сигналу і становить основну тему цієї статті. А саме: отримання часового розрізу, в якому час обраховується від рівня приведення, збігається з реальним часом пробігу хвилі і є головною метою введення поправок за зону малих швидкостей (ЗМШ) [1].

Друга задача полягає в тому, що шлях пробігу хвилі по променю  $l(x)$  необхідно замінити шляхом по вертикалі або нормалі до границі  $h(x)$ , що в багатократних системах МСГТ забезпечується підсумовуванням вихідних сейсмограм після перерахунку на нульове віддалення джерела від приймача. Цей перерахунок деформує сигнали, що не накопичуються синфазно, через відмінності годографа від гіперболічного внаслідок накладення різних за періодом і амплітудою часових затримок у ВЧР. Ці кінематичні нев'язки (аномалії), що спотворюються в ЗМШ, необхідно усунути до підсумовування, але в подальшому необхідно правильно знайти так звану швидкість підсумовування ( $V_{\text{СГТ}}$ ), яка найкращим чином апроксимує виправлені за ЗМШ годографи гіперболою, по якій сигнали зсуюються на нульове віддалення [2].

При цьому різниця в підсумуванні по нормалі або по вертикалі, тобто з міграцією або без неї, визначається ступенем різниці середовища від горизонтально-шарового, що не принципово з позиції врахування ЗМШ.

У літературі найчастіше віддають перевагу другій із зазначених задач [3], яка формує уявлення, що введення статичних

Таблиця 1

Вплив потужності ЗМШ на час проходження сейсмічної хвилі

Потужність, м	Пластова (середня) швидкість у ЗМШ, м/с	Час проходження хвилі в ЗМШ, мс	Пластова швидкість корінних порід, м/с	Час проходження хвилі в корінних породах, мс	Різниця часу приходу відбитої хвилі, мс
3	400	15	2000	3	12
3	700	8,4	2000	3	5,4
3	1000	6	2000	3	3
10	400	50	2000	5	45
10	700	28	2000	5	23
10	1000	20	2000	5	15
30	400	150	2000	15	135
30	700	84	2000	15	69
30	1000	60	2000	15	45

поправок необхідне для покращення якості підсумовування, і якщо воно досягається, то фізичний зміст поправок не потребує пояснення чи вивчення. На постулюванні пріоритету цієї задачі тримаються евристичні й апіорні методи отримання часових розрізів. Рідше, але вже більш стійкіше привертається увага до першої цілі введення статичних поправок, недосягнення якої призводить до пропуску реальних та інтерпретації фіктивних структур, у т.ч. «нарисованих швидкостями» [4]. Важливо зазначити, що постановка першої задачі дає привід до уточнення поняття ЗМШ або до варіацій замерзливих порід, обводнених (зневоднених) водоносних горизонтів, або до шару від лінії спостереження до реальної фізичної підшови латерально неоднорідної частини розрізу [5].

Динамічна (амплітудна, гетерогенна) структура хвильового поля, не спотвореного впливом ЗМШ, є особливістю часових

розрізів, що мають геологічне тлумачення, яке істотно розширює можливості сейсмічних методів.

Точність введення апіорних статичних поправок за рельєф та за зону малих швидкостей прямо впливає на точність кінцевих структурних побудов, на роздільну здатність часового розрізу і врешті-решт – глибинного. Використання найновіших систем позиціонування та навігації за останні десятиліття дає змогу з високою точністю виконувати топографо-геодезичні роботи, тож проблем із точністю введення поправок за рельєф практично не повинно існувати. Отримати з такою ж точністю апіорні поправки за ЗМШ для пунктів приймання і збудження практично неможливо, але важливо наблизитися до максимальної точності.

#### Особливості вивчення ЗМШ в Україні

Останні два десятиліття в Україні через вичерпання фонду нерозвіданих високоамплітудних структур та необхідність переходу до вивчення малоамплітудних нафтогазоперспективних об'єктів до точності результатів сейсморозвідувальних робіт МСГТ висувають підвищені вимоги. Із введенням у практику сучасних високоточних сейсморозвідувальних робіт 3D, 3C та 4D досліджень роздільна здатність сейсмогеологічних розрізів порівняно з отриманими раніше сейсмічними матеріалами зросла, вона досягається застосуванням оптимальних методичних та технічних прийомів, використанням найновіших світових зразків телеметричної апаратури, чітким виконанням стандартів допоміжних робіт (топографо-геодезичних робіт і досліджень ЗМШ), а також подальшої обробки та інтерпретації отриманих сейсмічних матеріалів. Однак у кожному випадку залежно від конкретних ландшафтно-геоморфологічних та геологічних умов необхідно обґрунтовано підходити до вибору методики дослідження ВЧР, а особливо ЗМШ.

Починаючи з 80-х років ХХ ст. невибухові джерела збудження витіснили вибухові джерела, тому питання точного введення апіорних статичних поправок за ЗМШ набуло більшої актуальності. На жаль, не в усіх геологічних організаціях, що виконують польові сейсмічні роботи, належним чином вивчають ВЧР. Належно організоване вивчення ВЧР звичайно потребує додаткових економічних і технічних витрат, хоча й незначних. Рівень постановки питання щодо вивчення потужності ЗМШ у геофізичній організації, що проводить сейсморозвідувальні роботи, прямо вказує на загальний рівень виробництва в ній. Більшість геофізичних організацій відмічають інформативні дані про сезонність коливання потужності ЗМШ ще на стадії проектування і, враховуючи цей фактор, досить коректно планують роботи з вивчення ВЧР.

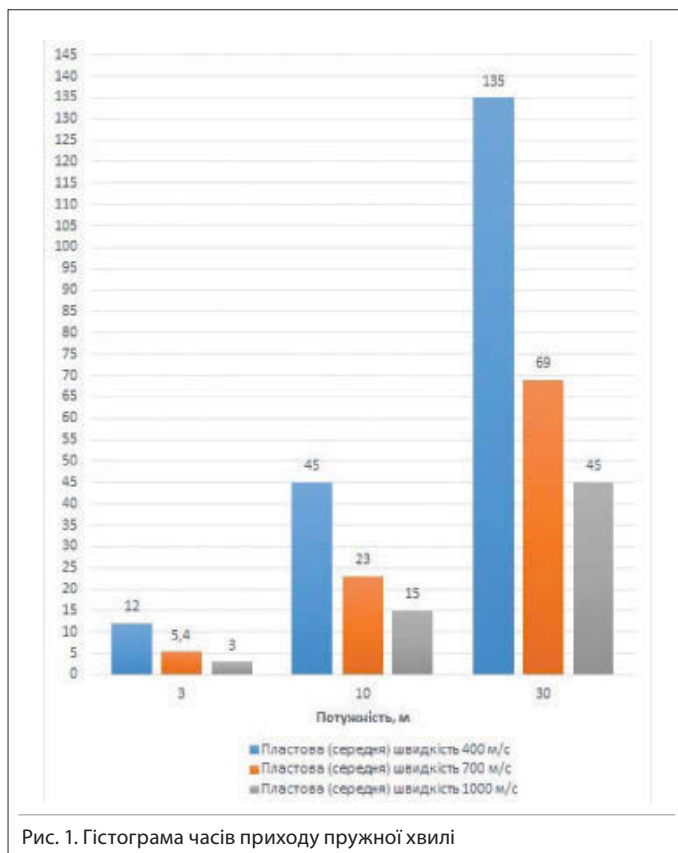


Рис. 1. Гістограма часів приходу пружної хвилі

Таблиця 2

Пластові швидкості гірських порід

Порода	Vp (м/с) за стану породи		
	неводонасичений	водонасичений	вологонасичений при t=-3 °C
Грунтовий шар	100–300	–	–
Пісок	200–700	1500–2000	3400–4000
Супісок	250–600	1450–1800	2800–3500
Суглинок	300–700	1500–1900	2200–2800
Лес	400–700	–	–
Глина (вкл. корінну)	400–1800	1800–2500	1900–2300
Галька	400–800	2000–2700	3800–4800
Пісковик	800–4000	1800–4500	3600–5000
Пісковик вивітрений	700–1600	2900–3100	3000–3200
Вапняки і доломіти	3000–3900	4400–5500	4400–5000
Кварцити і кварцові пісковики	3500–4000	5500–6100	5500–5700
Мрамур та мармурові доломіти	3400–4000	5500–6100	5500–5700
Кам'яна сіль	3600–4000	4700	4500–4800

Посилання на користування базою даних минулих років без проведення поточних робіт із вивчення ЗМШ не припустиме і тільки досить умовно (заради прив'язки чи створення загальної моделі потужності ЗМШ на площі досліджень, на яку тільки можна взяти загальний орієнтир) може забезпечити введення поправок за ЗМШ, а для ділянок зі складним пересіченим рельєфом, де проводяться сейсмічні дослідження, ці дані в абсолютній більшості випадків (особливо на крутих схилах) не достовірні. Похибки потужності ЗМШ на таких ділянках, порівняно з раніше виконаними роботами та поточними дослідженнями, можуть становити від 2 до 30 і більше метрів (табл. 1, рис. 1).

#### Методики вивчення ЗМШ

Найдостовірніші дані про потужність ЗМШ можна отримати під час проведення мікросейсмокаротажу (МСК) або зворотного його аналогу – мікросейсмоторпедування (в першому випадку збудження пружних коливань проводиться біля гірла свердловини, а спостереження – по стовбуру свердловини, в другому – навпаки). Як правило, замовники сейсмозвідувальних робіт висувають вимогу розташовувати точки МСК як опорні не рідше однієї на кожні 10 км<sup>2</sup>.

Другим розповсюдженим методом, практичним у застосуванні для визначення потужності ЗМШ, є метод перших вступів заломлених хвиль (МПВ). Суть його полягає в відпрацюванні та обробці зустрічних годографів перших вступів заломлених хвиль, а при середній і великій потужності ЗМШ додатково використовують нагінні годографи, якщо довжина однієї вітки годографа заломленої хвилі є недостатньою. Дуже важливо: коли на опорних точках МСК паралельно проводяться роботи МПВ, одразу з'являється можливість зіставлення результатів обох методів.

Третій метод, який найчастіше використовують для загального контролю, зв'язки та інтерполяції потужності ЗМШ у недоступних для постановки перших двох методів місцях (круті схили, заліснені ділянки, населені пункти тощо), – це оброблення заломлених хвиль на перших вступках робочих фізичних спостережень МСГТ за допомогою програм Head wave, GLI 3D, RUST 3D та деяких інших. Роботи з вивчення ЗМШ необхідно проводити паралельно або ж з незначним випередженням чи відставанням від основних 2D, 3D, 3C та 4D сейсмічних досліджень.

#### Основні чинники впливу на коливання потужності ЗМШ у нафтогазоносних регіонах України

Основними чинниками, що впливають на коливання по-

тужності ЗМШ, є кліматичний, геоморфологічний та економічний. Величина потужності ЗМШ коливається у досить широких межах у більшості нафтогазоносних провінцій, розташованих у межах рівнинної частини України. Коливання потужності ЗМШ бувають не тільки сезонними, а й періодичними. Вони можуть бути пов'язані з господарсько-економічною діяльністю людей (виснаження водоносних горизонтів у результаті їх інтенсивного використання в густонаселених та індустріальних районах), а також з погодно-кліматичними змінами. Потужність ЗМШ безперечно залежить від геологічної будови, літологічних характеристик ВЧР, геоморфологічних характеристик особливостей регіону. Величина ЗМШ у північно-західній та центральній частинах ДДЗ, а також платформових частинах західних областей України прямо залежить від гідрологічного режиму місцевості (насиченості водоносних горизонтів, тобто вологонасиченості конкретного пласта, який є границею ЗМШ) та особливостей клімату. У табл. 2 показано приклади пластової швидкості Vp (м/с) у неводонасиченому, водонасиченому та вологонасиченому замерзлому станах.

Як бачимо, залежно від літологічного складу і ступеня водонасиченості породи ці показники коливаються у досить широких межах зі збільшенням пластової швидкості в 1,5–5 разів у міру її зволоження.

Водонасиченість водоносних горизонтів, безперечно, залежить від середньорічної кількості опадів, ритмічності їх випадання, ступеня випаровуваності в теплий період року. Показник середньорічної кількості опадів коливається в Україні (межі нафтогазоносних провінцій) від 320–400 мм (степовий Крим, південний захід Одещини) до 560–700 мм на Волино-Подільській височині та північно-західній частині ДДЗ, у Прикарпатській та Карпатській зонах та високогір'ї Криму – у межах від 700 до 1200 мм на рік, а на високогір'ях Карпат – 1500 мм і більше. Режим наповнення і розвантаження водоносних горизонтів у різних регіонах у різний час має свої особливості та відрізняється у досить широких межах. Ще один, але досить важливий фактор, який необхідно враховувати під час вивчення ЗМШ, – це промерзання ґрунту, особливо на крутих схилах ярів та берегів рік, проте в Україні зим із середньомісячними температурами січня-лютого нижче від –15 °C – одна–дві на 20–25 років.

У Дніпровсько-Донецькій западині, в північно-західній та центральній її частинах (Сумська, Чернігівська, Полтавська



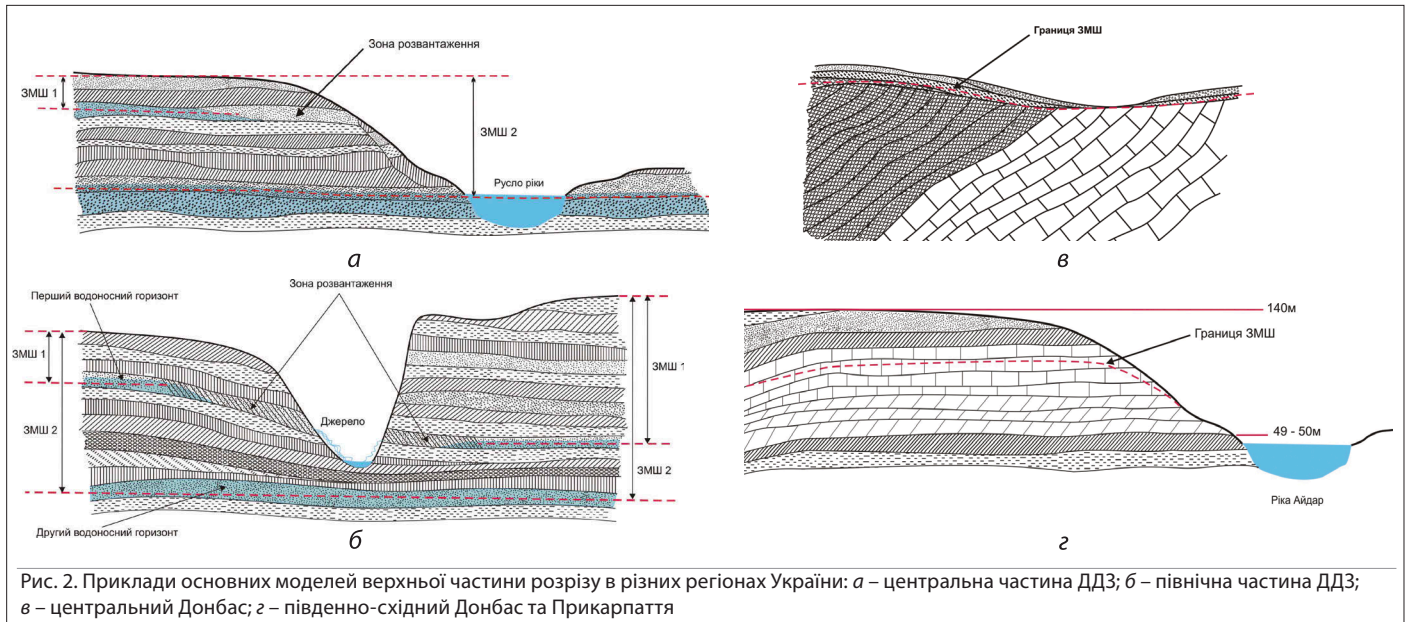


Рис. 2. Приклади основних моделей верхньої частини розрізу в різних регіонах України: а – центральна частина ДДЗ; б – північна частина ДДЗ; в – центральний Донбас; г – південно-східний Донбас та Прикарпаття

області, північні райони Харківської області), границя ЗМШ здебільшого прив'язана до другого водонасного горизонту, де водонепроникним горизонтом є достатньо потужний та слабопроникний глинистий шар. Пластова швидкість горизонту, на якому відбувається заломлення хвилі, що фіксує нижню границю зони малих швидкостей, прийнята 1600–2000 м/с.

Коливання потужності зони малих швидкостей у поліських регіонах та північному лісостепу України незначні і потужність ЗМШ в основному становить 5–20 м. Винятком є круті схили ярів та правих високих берегів річок (рис. 2, б), де потужність ЗМШ може досягати 30–40 м і більше.

У південній лісостеповій та степовій частинах ДДЗ (Придніпровська височина) ці коливання більш значні. У цьому регіоні найбільш помітні сезонні (протягом року) та річні коливання потужності ЗМШ. Вони передусім залежать від рельєфу місцевості (рис. 2, а), який тут характеризується широким розповсюдженням ерозійної яружно-балкової системи зі значними перепадами висот, а також збільшенням співвідношення випаровуваності до середньорічної кількості атмосферних опадів.

Величини потужності ЗМШ у центральній частині ДДЗ (більшість районів Полтавщини, Харківщина, схід Дніпропетровщини, північ Донеччини) становлять 25–80 м, а на схилах високих правих берегів рік – 40–100 м і більше. На всіх вищезазначених територіях трапляються непоодинокі випадки, коли будова верхньої частини розрізу ускладнена і ЗМШ двошарова.

Дещо інша картина щодо будови верхньої частини розрізу і потужності зони малих швидкостей у межах Донецького Кряжу, степової частини Луганщини та Донеччини, Кримського півострова, Прикарпаття. Крім загальних закономірностей будови ВЧР, розглянутих вище, на переважній більшості цих територій потужність ЗМШ обмежується наявністю зцементованих (пісковики, аргіліти, вапняки, мергелі та ін.) корінних акустично жорстких порід, що часто виходять на денну поверхню або перекриті невеликим осадом чохлом (рис. 2, в та г). Пластова швидкість сейсмічних хвиль у корінних породах (пластах, що

граничать із зоною малих швидкостей) у цих регіонах України коливається від 1650–1700 до 2250–2600 м/с.

Аналогічні, але значно менш поширені ділянки зустрічаються у західних областях України, у межах Волино-Подільської височини та Прикарпаття, де також спостерігаються виходи вапняків, мергелів та інших зцементованих порід на денну поверхню. У гірських регіонах Карпат та Криму практично всюди спостерігаються виходи зцементованих високошвидкісних корінних порід на поверхню, зрідка малопотужна ЗМШ (1–5 м) спостерігається в річкових долинах та на гірських схилах у межах осипів, яку достатньо контролювати за допомогою різних програм по перших вступах фізичних спостережень МСГТ.

Під час обробки матеріалів із вивчення ЗМШ обов'язковим моментом є постійна ув'язка результатів, отриманих різними методами (МПВ, МСК та використання заломлених хвиль на перших вступах фізичних спостережень (ф. с.) МСГТ). Це дає змогу отримати максимально точну модель потужності ЗМШ по площі досліджень і способом інтерполяції отримати максимально точні апріорні поправки за ЗМШ для кожної точки приймання та збудження в конкретний момент відпрацювання площі.

Важливо, коли в базі даних виконавця є достатній обсяг інформації з геологічної будови ВЧР по раніше вивчених площах, а також матеріалів сейсмокаротажу глибоких свердловин. Тоді значно легше передбачити, аналізуючи геологічні розрізи ВЧР, як залежно від пористості верхніх горизонтів можуть змінюватися насиченість чи розвантажування водонасних горизонтів.

Під час вивчення ЗМШ (МПВ, МСК) для загального контролю та інтерполяції на проміжних ділянках необхідно контролювати їх потужність за першими вступами заломлених хвиль із використанням програм Head wave, GLI 3D, RUST 3D та деяких інших, розроблених вітчизняними і зарубіжними фахівцями. Перш за все це стосується важкодоступних ділянок зі складним рельєфом, де можливості для постановки необхідної кількості точок МПВ чи МСК обмежені. Загальний обсяг запроектованих робіт із вивчення ЗМШ між замовником та ви-

конавцем робіт уточнюється шляхом посередництва представника замовника (супервайзера) ще на стадії проектування. Для виконання СР на площах зі спокійним рівнинним рельєфом із незначними перепадами абсолютних відміток необхідності в великих обсягах робіт МПВ (МСК) немає, не більше вимог та стандартів компанії-замовника.

На площах виконання СР із складним рельєфом зі значними перепадами висот для точнішого визначення апріорних статпоправок за ЗМШ пункти МПВ та МСК необхідно згущувати. Проводячи МСК на таких ділянках, необхідно мати результати із двох-трьох свердловин, розміщених у найбільш характерних точках рельєфу на кожні 10 км<sup>2</sup> (рис. 3).

На цьому рисунку показано організаційний та методичний підхід виконавця до вивчення ЗМШ на Слов'янській площі. Свердловини МСК 3–8, 10, 11 згущені і розташовані на найбільш складній у рельєфному плані ділянці площі. Можливо додати, що за такого складного рельєфу (перепади висот до 140 м) інтерполяції результатів робіт МПВ із прив'язкою до опорних точок МСК недостатньо. Тут і є необхідність продублювати на 65–75 % площі результати інтерполяції МПВ із результатами підстрахування по перших вступках робочих ф.с. МСГТ із використанням однієї з програм (Head wave, GLI 3D, RUST 3D та деяких інших, більш сучасних і ефективних), якими повинна бути обов'язково оснащена кожна організація. З геологічної точки зору це пояснюється тим, що на крутих схилах у різний час, з різними амплітудами відбувалися зсувні процеси, а тому геологічна будова ВЧР на цій ділянці ускладнилася, і розвантаження водоносних горизонтів на різних площадках (точках) відбувається по-різному.

#### Висновки

Враховуючи всі вищенаведені фактори, можемо зробити такі висновки:

1. Польові роботи з вивчення ЗМШ необхідно проводити паралельно з виробничими дослідженнями МСГТ (2D, 3D). У випадках значного проектного обсягу на виконання сейсмічних робіт і високої продуктивності відпрацювання сейсмічних досліджень МСГТ роботи із вивчення ЗМШ допускається виконувати з незначним запізненням (не більше 10–15 днів), обов'язково враховуючи при цьому погодно-кліматичні умови (кількість та інтенсивність опадів за цей період). Якщо в районі, де виконуються сейсморозвідувальні роботи, протягом певного часу (два тижні і більше) випали сильні опади, картина насиченості водоносних горизонтів, як правило, суттєво змінюється, особливо на крутих схилах берегів рік, балок та ярів. І аналогічно, якщо зміна відбувається у протилежний бік: після підняття температур до максимальних показників (інтенсивна випаровуваність призводить до швидкого виснаження водоносних горизонтів).

2. Під час виконання робіт МПВ із метою визначення потужності ЗМШ найважливішими методичними прийомами є довжина вітки годографа та тип джерела збудження пружних коливань. Для впевненого простежування заломленої хвилі довжина вітки годографа повинна не менше ніж у 2,5–3 рази бути довшою, ніж максимальна передбачувана потужність ЗМШ. Джерело збудження повинно бути достатньої потужності, щоб із невеликою кількістю накопичень отримати чітку заломлену хвилю за будь-якої потужності ЗМШ. Під час проведення збудження пружних коливань із застосуванням підривних робіт джерелом збудження виступають амоніти чи шашки з пресованого тротилу вагою

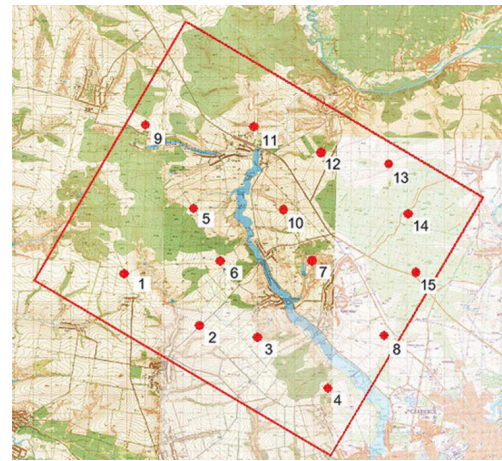


Рис. 3. Розподіл свердловин МСК по площі

100–400 г. Таку методику доцільно використовувати також у важкодоступних, заліснених місцях і на крутих схилах, де потужність ЗМШ досить велика і дуже мінлива.

3. До вивчення ЗМШ у кожному нафтогазоносному регіоні України необхідний свій особливий підхід. Будова ВЧР північно-західної частини ДДЗ нескладна, тому тут для виконання сейсмічних досліджень МСГТ потрібне загальне її вивчення за допомогою одного–двох методів. Більш складною є будова ВЧР у центральній та східній частинах ДДЗ, а тому тут необхідно застосувати комплексний підхід до її вивчення. Складною будовою ВЧР характеризується також степова частина Кримського півострова та західної частини Одещини. Зона зчленування ДДЗ та Донбасу, а також складчастий Донбас характеризуються досить змінною будовою ВЧР – від досить складної до стабільної, особливо на ділянках виходів зцементованих корінних порід. Тому підхід до вивчення потужності ЗМШ тут потрібно вибирати після загальної оцінки будови ВЧР. У Передкарпатському прогині та платформних районах західних областей будова ВЧР також досить різноманітна, найскладніша вона на ділянках максимальних позначок Волинської та Подільської височин. До робіт із вивчення ЗМШ тут також необхідно підходити з урахуванням усіх як поверхнево-геологічних, так і літологічних чинників.

#### Список літератури

1. **Геологический** словарь: в 2-х т. / Х.А. Арсланова, М.Н. Голубчина, А.Д. Искандерова [и др.]; под ред. К.Н. Паффенгольца. – 2-е изд., испр. – М.: Недра, 1978. – Т. 1. – С. 261.
2. **Павленкин А.Д.** Способы изучения ВЧР и учета статических поправок / А.Д. Павленкин, Ю.В. Рослов, Н.Н. Ефимова, А.Н. Кремлев // Технологии сейсморазведки. – 2008. – № 3. – С. 40–45.
3. **Гольдин С.В.** Двумерная кинематическая интерпретация сейсмограмм в слоистых средах / С.В. Гольдин, Л.Г. Киселев, В.Г. Лашков, В.С. Черняк. – Новосибирск: Наука, 1993. – С. 60–124.
4. **Соколова Н.Е.** Учёт влияния вариаций толщин многолетне-мёрзлых пород при структурных построениях на севере Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна / Н.Е. Соколова, А.С. Щарева // Технологии сейсморазведки. – 2007. – № 1. – С. 44–49.
5. **Гурвич И.И.** Сейсмическая разведка / И.И. Гурвич, Г.Н. Боганик. – М.: Недра, 1980. – С. 119, 333, 500.