

декількох містків через річку. Значної небезпеки обвали становлять для автомагістралі Київ – Ужгород (поблизу с. Абранка), а також у м. Воловець.

Висновки. З'ясування просторово-часових закономірностей водно-гравітаційних та гравітаційних процесів у межах Закарпатської області підтверджує багатofакторний характер їх формування. Доведено пріоритетність геологічних та гідрометереологічних чинників виникнення зсувних, селєвих та обвальних явищ. Визначено морфологічні особливості зсувних тіл. Формування небезпечних геологічних явищ у межах різнохарактерних породних

комплексів потребує обов'язкових додаткових досліджень, спрямованих на виявлення фундаментальних особливостей геологічного середовища.

1. Айзенберг М.М., Лундин С.М., Сименіха А.С., Яблонський В.В. Селевые очаги в Украинских Карпатах // Труды УкрНИГМИ. – 1972. – Вып. 119. 2. Екологічна безпека техноприродних геосистем у зв'язку з катастрофічним розвитком геологічних процесів / С.В. Гошовський, Г.І. Рудько, Б.М. Преснер та ін. – К., 2002. 3. Перехрест С.М., Кочубей С.Г., Печковська О.М. Шкідливі стихійні явища в Українських Карпатах та засоби боротьби з ними. – К., 1971.

Надійшла до редколегії 28.08.06

УДК 556.3.001.5

А. Шостак, канд. техн. наук

РОЛЬ ГЛИНИСТОЇ СКЛАДОВОЇ У ПРОЦЕСІ СТИСКАННЯ НАСИЧЕНИХ ДИСПЕРСНИХ ҐРУНТІВ ПРИ ЗМІНІ ТЕМПЕРАТУРИ

Розглядаються основні результати численних експериментів, спрямованих на вивчення стисливості та процесу фільтраційної консолідації окремих різновидів глинистих ґрунтів. На підставі експериментальних даних зроблено теоретичні висновки про значення глинистої складової та її роль у процесі ущільнення й консолідації.

This paper considers the major results of numerous experiments aimed at the study of compressibility and filtration consolidation process in some types of loam soils. The experimental data allow for theoretical conclusions on the importance of the loamy element and its role in the process of solidification and consolidation.

Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок з важливими науковими чи практичними завданнями. Наслідки багаторічної експлуатації окремих промислових об'єктів за умови систематичних витоків води з технічних комунікацій свідчать про те, що величина та швидкість ущільнення водонасичених ґрунтових основ мають нерівномірний характер. Крім того, наявність теплотрас у міських агломераціях також накладає відбиток на поведінку ґрунтового середовища в часі та просторі. Механізм теплового впливу на ґрунти має складний багатогранний характер і тому потребує посиленої уваги. Безумовно, у першу чергу відбувається зміна вологості, причому, залежно від пори року можливе як зволоження, так і висушування ґрунтів. Такі наслідки комбінованого поєднання несприятливих техногенних чинників мають бути вивченими і враховуватися як у процесі інженерно-геологічних досліджень територій, так і в прогнозах осідань споруд.

Аналіз останніх досліджень та публікацій, у яких започатковано розв'язання даної проблеми і на які спирається автор. На сьогодні виконані практичні дослідження й теоретичні узагальнення, спрямовані на розв'язання питань, що в першу чергу стосуються визначення показників фізико-механічних властивостей. Зокрема, вивчалися зміни лобового опору ґрунтів під час зондування, що пов'язується з варіаціями вологості і в кінцевому рахунку мінімістю деформованості й міцності глинистих ґрунтів [2]. Досить часто на процеси деформації ґрунтів у таких випадках накладає відбиток саме присутність порівняно невисоких позитивних температур (до 50–60° С), що суттєво ускладнює питання протидії таким процесам. З іншого боку, вивчення температурних залежностей властивостей ґрунтів поглиблює розуміння їхньої природи. Зокрема, такі властивості, як деформованість і міцність, віднаходять своє пояснення з позицій розробленої на сьогодні кінетичної теорії. Вона розглядає деформацію ґрунту як термоактиваційний процес і ґрунтується на уявленнях про кінетичну природу деформування й довготривалого руйнування [1, 3].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, яким присвячується дана стаття. Зміна зовнішніх умов, зокрема температури ґрунту, призводить до порушення існуючої квазістатичної рівноваги ґрунту і обумовлює прояви процесів, що призводять до зміни його фізико-механічних властивостей. Але зали-

шається відкритою участь у вказаних процесах таких суттєвих чинників, як мінеральний склад глинистої фракції, взаємодія з водою за умови температурного впливу, дія концентрації порового розчину тощо.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Завданням статті є викладення результатів лабораторного вивчення поведінки окремих різновидів глинистих ґрунтів за наявності температурного впливу та висвітлення ролі глинистої складової у процесах стискання та фільтраційної консолідації.

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів. Деформація глинистих ґрунтів вивчалася автором на вільно набряклих зразках, розміщених у компресійній приладі з термокамерами. Стискаючи зусилля змінювалися ступенями від 0,1 до 6,0 МПа, а температура на кожному рівні навантаження дотримувалася постійною аж до настання умовної стабілізації осідання. Для порівняння випробовувалися серії зразків-близнюків, контрольна частина яких піддавалася стисканню в умовах постійної температури (20° С), а інша випробовувалася в інтервалах температур від 40 до 60° С. Серії зразків поділялися на групи глин морського походження, еолово-делювіальних суглинків і супісків із вмістом у глинистій фракції монтморилоніту до 78 %, 58 і 40 % відповідно. У ході дослідів виконувався контроль за деформацією зразків і визначалася їхня вологість. Накопичені на сьогодні дані різних авторів і результати власних досліджень впливу мінерального складу, вологості, складу обмінних катіонів, наявності структурних зв'язків на фізико-механічні властивості глинистих ґрунтів за температури 20–60° С дозволяють сформулювати висновки про загальні закономірності зміни цих властивостей.

За результатами термічного ущільнення водонасичених основних різновидів глинистих ґрунтів було побудовано графіки компресійних залежностей між вологістю та температурою. На підставі узагальнення результатів експериментів можна зробити висновок про те, що найбільшою здатністю до ущільнення володіють власне глини, трохи меншою – суглинки і найменшою мірою супіски. Однак у процесі стиснення по мірі зменшення вологості дослідних зразків інтенсивність термічного ущільнення дещо зменшується у всіх різновидів глинистих порід. Найчутливішими до стискання виявилися високодисперсні монтморилонітові глини, у яких збіль-

шення температури від 20 до 60° С викликало зростання відносної компресійної деформації на 25 % і більше. У гідрослюди́стих і хлоритових глинах приріст деформації за тих самих умов становив до 15–20 %.

Заміна багатовалентних катіонів на одновалентні в обмінному комплексі глин також підвищує ступінь стисливості їх при термокомпресії. Цей факт можна пояснити збільшенням дисперсності глин і відповідним зростанням ролі зв'язаної води в загальній деформації. Особливо відчутно така закономірність виражена в монтморилонітових глинах. Аналогічним чином діє на термокомпресію і зниження концентрації електроліту в поровому розчині. У той же час деякою чутливістю до температури наділені й ті глинисті ґрунти, що мають високу концентрацію порового розчину з порівняно невеликою кількістю зв'язаної води. Але в цьому випадку приріст деформації внаслідок збільшення температури досягнув лише 5–8 %.

Істотним чинником, що впливає на стисливість глинистих ґрунтів при підвищенні температурах, є їхня вологість. За ступенем впливу позитивних температур вивчені пілувато-глинисті ґрунти можна умовно поділити на три групи, які характеризувалися різною вологістю, ступенем ущільнення й деформаційними показниками.

1. Ґрунти з високим ступенем впливу температури. Сюди належать слабо ущільнені глинисті ґрунти із приховано текучою і пластичною консистенцією, які в досліді проявили пластично-в'язкий характер деформування. Коефіцієнти стисливості для таких ґрунтів не перевищують $0,07\text{--}0,04\text{ МПа}^{-1}$, а модулі компресійної деформації менші за $8,0\text{ МПа}$. Приріст компресійної деформації за максимальної температури (60° С) становить 23–25 %. Вологість таких різновидів ґрунтів визначається переважно вільною та осмотично зв'язаною водою. Слід зауважити, що подібні глинисті системи наділені незначною структурною міцністю на фоні великої пористості (глинисті ґрунти з дальніми коагуляційними контактами). Відбувається відтискання води в першу чергу, вірогідно, із великих міжагрегатних пор і зближення часток між собою. У міру ущільнення таких ґрунтів інтенсивність стискання зменшується, що відображається на показниках: коефіцієнти стисливості падають до сотих часток МПа^{-1} . Отже, зневоднення й підвищення температури зразків призводить до збільшення ступеня агрегації часток. Крім того, зростання температури сприяє також збільшенню ступеня орієнтованості часток при ущільненні в напрямку, перпендикулярному до навантаження, що прикладається.

2. Ґрунти із середнім ступенем впливу температури. Сюди належать зразки глинистих порід середньої ущільненості, що мають пластичну і напівтверду консистенцію. Модулі компресійної деформації в них змінюються від 9 до 35 МПа , а коефіцієнти стисливості – від $0,005$ до $0,04\text{ МПа}^{-1}$. Приріст відносної компресійної деформації при нагріванні до 60° С становить 10–15 %. Вологість ґрунтів цієї групи залежить від кількості осмотичної та адсорбційно зв'язаної води.

3. Ґрунти з низьким ступенем впливу температури. До цієї групи слід віднести глинисті ґрунти, що мають високу ущільненість, а також тверду й напівтверду консистенцію. Коефіцієнти стисливості у таких ґрунтів не перевищують $0,005\text{ МПа}^{-1}$, а модулі компресійної деформації більші за 35–40 МПа . Приріст відносної компресійної деформації при нагріванні до 60° С становить лише 8–10 %.

Найчутливішими до підвищення температури при стисканні виявилися ґрунти з коагуляційним типом контакту, де взаємодія часток здійснюється через водні оболонки, що обумовлюють розклинювальний тиск. При підвищенні температури величина розклинювального тиску, який протидіє зовнішньому навантаженню, знижується, викликаючи зближення часток і об'ємну деформацію зразка в цілому. Встановлено, що підвищення температури знижує структурну міцність глин, але лише в області вологостей, більших від нижньої межі пластичності.

Вплив температури на реологічні властивості глинистих ґрунтів проявляється найбільшою мірою. У результаті аналізу дослідів одновимірної консолідації автором встановлено, що з підвищенням температури до 60° С процес консолідації глинистих ґрунтів відбувається більш інтенсивно, зі скороченням періоду неусталеної повзучості. У координатах "відносна деформація – час" криві повзучості за різних позитивних значень температури розташовуються одна над іншою, причому верхні криві відповідають більш високим температурам (за умови постійного напруження). Порівняння результатів свідчить, що зі збільшенням температури в умовах одновимірної консолідації зростає її швидкість і відповідно скорочується період фільтраційного ущільнення глинистої породи. Висока питома поверхня глинистих ґрунтів як дисперсних систем на межі твердої та рідкої фаз, значна гідрофільність поверхні часток визначають і високу енергію зв'язку молекул води із твердою фазою ґрунту. Вода, що перебуває в полі дії поверхневих сил, набуває реологічних властивостей, відмінних від води в об'ємі, а саме підвищеної в'язкості, напруження зсуву і т. д. У процесі фільтраційного ущільнення, ймовірно, у першу чергу відтискається вода з ділянок відносно великих пор. Далі відбувається в основному плівкове (дифузійне) переміщення зв'язаної води. Про це свідчать і значення коефіцієнта консолідації глин, які є дуже малими і за порядком близькими до коефіцієнта дифузії (табл. 1). Фільтраційна консолідація суглинків характеризується зміною значень коефіцієнта консолідації в досить широких межах. Порівняно високі значення C_v у суглинків обумовлені особливостями їхньої структури: наявністю відносно більшої кількості великих, неоднорідних пор, де присутня вода, близька за властивостями до вільної. Така вода при підвищенні температури зменшує свою в'язкість. Поряд з тим у структурі суглинків відбувається збільшення перетину порового простору як за рахунок зростання розмірів пор унаслідок термічної агрегації, так і за рахунок зменшення товщини оболонок зв'язаної води навколо часток.

Таблиця 1. Величини коефіцієнта консолідації C_v ($\text{см}^2/\text{с}$) глинистих ґрунтів залежно від температури

Напруження, МПа	Глини морського походження			Суглинки еолово-делювіальні		
	20° С	40° С	60° С	20° С	40° С	60° С
0,1	$8,35 \cdot 10^{-5}$	$9,9 \cdot 10^{-5}$	$1,05 \cdot 10^{-4}$	$2,32 \cdot 10^{-5}$	$3,74 \cdot 10^{-5}$	$7,2 \cdot 10^{-5}$
0,2	$5,0 \cdot 10^{-5}$	$6,31 \cdot 10^{-5}$	$6,62 \cdot 10^{-5}$	$1,14 \cdot 10^{-5}$	$1,82 \cdot 10^{-5}$	$2,71 \cdot 10^{-5}$
0,5	$2,38 \cdot 10^{-5}$	$2,56 \cdot 10^{-5}$	$3,04 \cdot 10^{-5}$	$3,25 \cdot 10^{-5}$	$4,49 \cdot 10^{-5}$	$7,44 \cdot 10^{-5}$
0,8	$1,06 \cdot 10^{-5}$	$1,2 \cdot 10^{-5}$	$1,33 \cdot 10^{-5}$	$1,77 \cdot 10^{-5}$	$2,05 \cdot 10^{-5}$	$2,87 \cdot 10^{-5}$
1,0	$6,2 \cdot 10^{-6}$	$6,4 \cdot 10^{-6}$	$6,81 \cdot 10^{-6}$	$7,0 \cdot 10^{-6}$	$8,16 \cdot 10^{-6}$	$1,08 \cdot 10^{-5}$

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі. Таким чином,

ущільнення та наступна консолідація глинистих ґрунтів значною мірою визначаються мінеральним складом

глинистої фракції. Порівняно з іншими зразками найчутливішими до стискання і температурних змін при цьому є глини монтморилонітового складу, у той час як глинисті ґрунти з каолінітовою та хлоритовою складовими мають менші значення коефіцієнтів стисливості. У загальному випадку величина відносної деформації повзучості збільшується зі збільшенням температури. Однак зі зменшенням вологості водонасичених глинистих ґрунтів швидкість приросту відносної деформації повзучості за рахунок температурного впливу зменшується. Коли вологість стає меншою від нижньої границі

пластичності, температура зразків практично не впливає на повзучість глинистих ґрунтів. Подальші експерименти у вказаному напрямку вимагають вдосконалення методики, планування експериментів і розробки нетрадиційних видів лабораторного устаткування.

1. Злочевская Р.И., Королев В.А. Электроповерхностные явления в глинистых породах. — М., 1988. 2. Королев В.А., Злочевская Р.И., Смирнов О.Е. Изменение свойств глинистых грунтов при техногенных воздействиях // Геоэкология. — 2001. — № 6. 3. Поверхностные пленки воды в дисперсных структурах / Под ред. Е.Д. Щукина. — М., 1988.

Надійшла до редколегії 10.09.06

УДК 555.491.5(571.121)

Д. Чомко, канд. геол. наук, Ф. Чомко, доц.

ВИКОРИСТАННЯ ФАКТОРНОГО АНАЛІЗУ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ РОЗПОВСЮДЖЕННЯ ЗАБРУДНЕННЯ ПІДЗЕМНИХ ВОД

Запропоновано новий спосіб визначення залежності формування хімічного складу підземних вод від різних природних (атмосферні опади, річки та ін.) і техногенних (будівництво, смітники тощо) факторів. Спосіб базується на використанні факторного аналізу. Застосування цього методу дозволяє не лише викривати джерела забруднення підземних вод, а й прогнозувати його розповсюдження. Метод випробувано за даними водозабору м. Новий Уренгой.

The proposed new method is the determination of the dependence on the chemical composition's formation of the underground water from the different natural factors (atmospheric precipitation, rivers and others) and the technogen ones (building, rubbish-heaps and so on). The method is based on the employment of the factor analysis. The employment of that method makes it possible to determine the sources of the underground water pollution. It is tested by the water intake in Novyi Urengoi.

Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. Для прогнозу техногенного забруднення водозабору на сьогодні використовуються різні аналітичні методи, методи побудови міграційних схем, а також математичне моделювання. У гідрогеології найбільш вживаним виявився ймовірно-статистичний підхід та відповідні йому моделі, що спираються на широке використання методів багатовимірного статистичного аналізу. Цей метод є основою для формування признакового простору, обґрунтовування самої моделі та критичного аналізу результатів, що ми отримуємо.

Хімічний склад підземних вод є кінцевим продуктом дії не одного, а цілої сукупності природних і техногенних процесів (умов живлення й розвантаження, іонного обміну, антропогенного забруднення і т. д.). Вплив цих процесів на підземні води позначається на взаємопов'язаній зміні вмісту компонентів і на характері зв'язків між ними. Проте ці зв'язки в досліджуваних компонентах підземних вод у "чистому вигляді" не зберігаються. Кореляційна залежність між досліджуваними значеннями змінних фактично є кінцевим результатом дії всієї сукупності процесів. Тому, щоб встановити, які процеси дійсно є визначаючими в забрудненні підземних вод, ми і застосували методи багатовимірного статистичного аналізу.

Аналіз останніх досліджень та публікацій, у яких започатковано розв'язання даної проблеми і на які спирається автор. Статистичні методи є одними з найефективніших засобів виявлення закономірностей, прихованих у масивах даних, оскільки в гідрогеології, як правило, відсутня можливість безпосереднього нагляду і вимірювання процесів-чинників. Про них можна судити лише по кінцевих результатах прояву процесів, що відображаються у значеннях різних характеристик [6].

Важливе місце серед методів багатовимірного аналізу займають факторний і компонентний аналізи. Вони є вельми ефективним засобом стискування інформації шляхом переходу від початкових даних до нових змінних — факторів (компонентів). Вивчення структури факторів дозволяє перевірити існуючі та висунути нові гіпотези про причини, що породжують взаємозв'язки між досліджуваними змінними, і тим самим дати причинно-наслідкову інтерпретацію отриманих результатів [2].

Метод головних компонент використовується як самостійний, так і у вигляді елементу у всіх сучасних схемах аналізу фактора. Фундаментальна відмінність між компонентним і факторним аналізами полягає у способі знаходження факторів і припущеннях, що стосуються природи залишків. У компонентному аналізі фактори визначаються відповідно до критерію максимізації їх внеску в сумарну дисперсію всіх змінних. У компонентному аналізі фактори визначаються за принципом максимізації зв'язків між змінними. Можна сказати, що компонентний аналіз полягає в дослідженні дисперсій, а власне факторний аналіз — у вивченні кореляцій між змінними. У компонентному аналізі передбачається, що залишкові члени її малі, а в факторному аналізі цього припущення не робиться. Отже, у компонентному аналізі вважається, що основна частина дисперсії змінної важлива для дослідження і пов'язана з іншими спостережуваними змінними. У факторному аналізі навпаки, припускають, що початковим даним властива значна частка "специфічності" і використовують тільки ту складову змінної, яка корелюється з іншими змінними. В обох методах вважається, що залишки не корелюють з факторами. Проте в компонентному аналізі ніяких припущень про кореляцію між залишками не робиться, тоді як у факторному аналізі ґрунтуються на тому, що вони не корелюють між собою.

Факторний аналіз дозволяє отримати мінімальну кількість нових змінних, які є лінійними комбінаціями початкових, причому ці нові змінні містять ту саму кількість інформації.

Методи аналізу фактора поділяються на два великі класи: R-модифікація та Q-модифікація. Перший пов'язаний з дослідженням співвідношень між змінними і заснований на виділенні власних значень і власних векторів з коваріаційної або кореляційної матриць, другий — із вивченням співвідношень між об'єктами і часто використовується для дослідження їх внутрішньої структури для уявлення в багатовимірному просторі.

Виділення невіршених раніше частин загальної проблеми, яким присвячується дана стаття. Аналіз починається з обчислення кореляції між даним числом N заміряних змінних. Матриця коефіцієнтів кореляції обробляється за методом головних компонент (R-