

ВПЛИВ АТМОСФЕРНИХ ОПАДІВ НА ВЕРТИКАЛЬНІ РУХИ ЗЕМНОЇ ПОВЕРХНІ НА ГЕОДИНАМІЧНОМУ МІКРОПОЛІГОНІ У ПОЛТАВІ

На основі десятирічних спостережень на геодинамічному мікрополігоні у Полтаві здійснено оцінку впливу атмосферних опадів на вертикальні рухи верхнього шару ґрунту та земної поверхні. Наведено числові характеристики дії атмосферних опадів та евапотранспірації на вертикальні зміщення земної поверхні, а також їхні сезонні особливості.

Ключові слова: вертикальні рухи земної поверхні; атмосферні опади; евапотранспірація; вологість ґрунту.

Вступ

Величина впливу гідрометеорологічних чинників на динаміку земної поверхні може значно перевищувати точність сучасних прецизійних визначень, що створює труднощі при інтерпретації результатів спостережень за тектонічними та техногенними процесами. Якщо дію атмосферних навантажень можна з високою точністю врахувати за наявності даних про розподіл атмосферних мас, то вплив гідрометеорологічних чинників, зокрема опадів, залишається вивченим недостатньо, що унеможливує його прогнозувати в просторі та часі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

В останній час у Європі доволі активно досліджують дію атмосферних опадів на повільні зміни прискорення сили ваги [Harnisch et al., 2006; Meurers, 2006] та варіації нахилів земної поверхні [Westerhaus, Welle, 2002; Jentsch et al., 2002]. Здійснюються спроби моделювання цього явища на перманентних станціях прецизійних спостережень. На жаль, вивченню впливу опадів на вертикальні рухи земної поверхні (ВРЗП) приділяється недостатньо уваги. На наш погляд, частково це пояснюється тим, що метод супутникової навігації, який зараз є основним засобом визначення глобальних та регіональних рухів земної поверхні, унеможливує досліджувати цей ефект. Крім того, залежність ВРЗП гідрометеорологічного походження від багатьох локальних чинників значно ускладнює їхнє вивчення.

З метою дослідження впливу гідротермічних чинників на динаміку земної поверхні Полтавською гравіметричною обсерваторією (ПГО) створено кілька геодинамічних мікрополігонів (ГМП), де тривалий час проводяться комплексні спостереження за деформаціями земної поверхні під дією швидкозмінних умов зовнішнього середовища. Нижче наведено деякі встановлені раніше закономірності ВРЗП гідротермічного походження, які ми використали у цій роботі. Так, сезонні варіації вологи у ґрунтах, до складу яких входять глинисті компоненти, є основним чинником, що зумовлює періодичні ВРЗП [Павлик та ін., 1996]. Гідротермічні ВРЗП з глибиною швидко загасають за експоненціальним законом [Павлик, 1999]. Величина сезонних ВРЗП значною мірою залежить від гранулометричного складу ґрунту [Павлик, 2010].

Постановка завдання

Мета роботи – встановити експериментальним шляхом впливу атмосферних опадів на вертикальні переміщення верхнього шару ґрунту і земної поверхні та дослідження ролі окремих складових водного балансу ґрунту в генерації цих переміщень.

Вихідні експериментальні дані

Як геодезичні дані ми використали результати майже 10-річних спостережень (травень 2001 р. – грудень 2010 р.) за вертикальними переміщеннями групи з трьох поверхневих реперів 5, 7 і 8, які розташовані на ГМП у Полтаві (територія ПГО). Нівелірні знаки закладено у верхньому 1-метровому шарі ґрунту, вони являють собою бетонні циліндричні моноліти з латунною маркою у верхній частині. Взимку 2003–2004 рр. тіло репера 8 на глибині 0,3 м від поверхні було розірване значною деформацією замерзаючого верхнього шару ґрунту; тому з цього часу глибина цього знака становить 0,3 м. Репери розміщені у фруктовому саду, ґрунт покритий трав'янистою рослинністю. Репер 7 знаходиться на відкритій місцевості, репер 5 – на межі саду та відкритої місцевості, а репер 8 – у глибині саду. Ґрунти на ГМП у Полтаві середньосуглинисті, вміст глинистих фракцій становить близько 11 % [Павлик, 2010].

Вертикальна складова динаміки верхнього шару ґрунту визначалась методом повторного геометричного нівелювання вказаних реперів з однієї станції. Методика спостережень була спрямована на отримання максимальної точності. Вертикальні переміщення поверхневих реперів 5, 7 і 8 визначались стосовно репера завглибшки 6 м, який відзначається високою стійкістю з моменту його закладки у 1987 р. За період 05.2001 р. – 12.2010 р. здійснено майже 500 циклів спостережень із середньою періодичністю 7 діб. Детальніше особливості ГМП та методики спостережень викладені у працях [Павлик та ін., 1992; 1996].

Використані нами дані про атмосферні опади отримані Полтавським гідрометбюро, метеорологічний майданчик якого розташований на відстані усього 0,7 км від вказаних вище реперів ГМП.

Особливості ВРЗП і атмосферних опадів на ГМП у Полтаві

ВРЗП на ГМП мають чітко виражений сезонний характер. Це ілюструє рис. 1, на якому зобра-

жено середні за період 2001–2010 рр. ВРЗП за даними спостережень реперів 5, 7 і 8. Такий самий характер вертикальних рухів властивий усім без винятку майже 30-поверхневим реперам полігону у Полтаві. Він зумовлений сезонними варіаціями вологи у верхньому шарі ґрунту, які змінюють його об'єм і, як наслідок, викликають періодичні вертикальні переміщення земної поверхні [Павлик та ін., 1996].

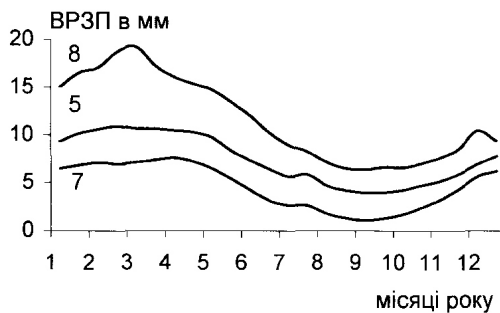


Рис. 1. Середні за 2001–2010 рр. сезонні ВРЗП за даними спостережень поверхневих реперів 5, 7 і 8

Але, як буде показано далі, чіткий сезонний хід ВРЗП в окремі роки може порушуватись. Випадання значних за величиною атмосферних опадів істотно підвищує вологість ґрунту, що породжує різкі підняття земної поверхні.

Атмосферні опади є одним з найбільш мінливих у часі і просторі метеорологічних явищ. Але для конкретного місця на поверхні Землі сумарна середня багаторічна місячна кількість опадів є порівняно сталою величиною. На рис. 2 показано середньомісячні суми атмосферних опадів за період 2001–2010 рр., а також найбільші та найменші значення місячних опадів за вказаний проміжок часу у Полтаві.

Показаний на рис. 2 середній сезонний розподіл опадів за останнє десятиріччя є характерним для Полтави і відповідає багаторічним метеорологічним даним [Атлас..., 1978]. Найбільша кількість опадів випадає за період з травня по жовтень включно. Слід зазначити, що за період з 1951 р. до 2010 р. п'ятиріччя 2001–2005 рр. для Полтави було найвологішим у період активної вегетації [Барабаш та ін., 2007].

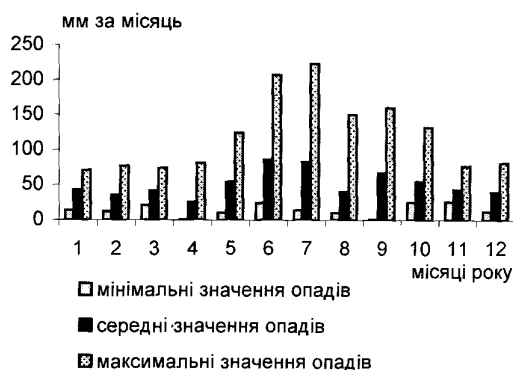


Рис. 2. Середні та екстремальні величини атмосферних опадів за місяць у Полтаві за період 2001–2010 рр.

Якщо брати до уваги зливи (опади, кількість яких за добу перевищує 30 мм), то за останнє десятиріччя у Полтаві їх відбулось 15. По чотири зливи трапилось у червні та липні, по три – у вересні, по дві – у серпні і по одній – у травні та жовтні. Найбільші зливи були у 2003 р. (6 липня – 72 мм), у 2004 р. (8 серпня – 54 мм) та у 2007 р. (2 червня – 96 мм, 7 вересня – 47 мм, 9 вересня – 70 мм).

На рис. 3 показано ВРЗП, зумовлені атмосферними опадами у найвологіші роки останнього десятиріччя.

Значні та тривалі опади викликали аномальні підняття усіх поверхневих реперів величиною до 5 мм. Величина та форма вертикальних збурень земної поверхні незалежно від розташування нівелірних знаків є приблизно однаковою. Періоди року, коли верхній шар ґрунту перебуває у мерзломому стані, не брався до уваги. Адже механізм генерації ВРЗП гідротермічного походження у цей період є зовсім іншим.

На рис. 4 показано ВРЗП у роки з найменшою кількістю опадів.

Порівняно незначні за інтенсивністю, але тривалі опади також помітно впливають на сезонний хід ВРЗП. Але вплив цей є помітно меншим і не завжди відображається у вертикальних переміщеннях земної поверхні. Найчутливішим до опадів у роки з незначною їх кількістю є репер 7, який розташований на відкритій місцевості.

Водний баланс ґрунту

У ґрунтах, до складу яких віднесені глинисті компоненти, варіації вологи є основним чинником, який зумовлює сезонні ВРЗП. Запаси вологи ґрунту визначаються балансом між прихідною та витратною її складовими. Існує багато причин, які впливають на водний баланс ґрунту. Так, його прихідна частина залежить від опадів, поверхневого та внутрішньогрунтового притоку води, притоку з ґрунтових вод, конденсації атмосферної пари в ґрунті. Витратна частина складається з випаровування води з поверхні землі, транспірації рослинами, просочування у ґрунтові води, поверхневого та внутрішньогрунтового стоку. Враховуючи той факт, що досліджувана нами ділянка земної поверхні розташована на рівнинній місцевості, а рівень ґрунтових вод знаходиться на глибині близько 8 м, більшість вищеперелічених складових будуть відсутніми або незначними.

На практиці для розрахунків часто використовують спрощене рівняння водного балансу, яке включає лише основні елементи [Чирков, 1979]:

$$W_k - W_n = r - E_n - E_m, \quad (1)$$

де W_n і W_k – відповідно вологість ґрунту в початковий та кінцевий моменти проміжку часу; r – сума атмосферних опадів за конкретний проміжок часу; E_n і E_m – відповідно випаровування води з поверхні землі та транспірація вологи рослинами за цей проміжок часу.

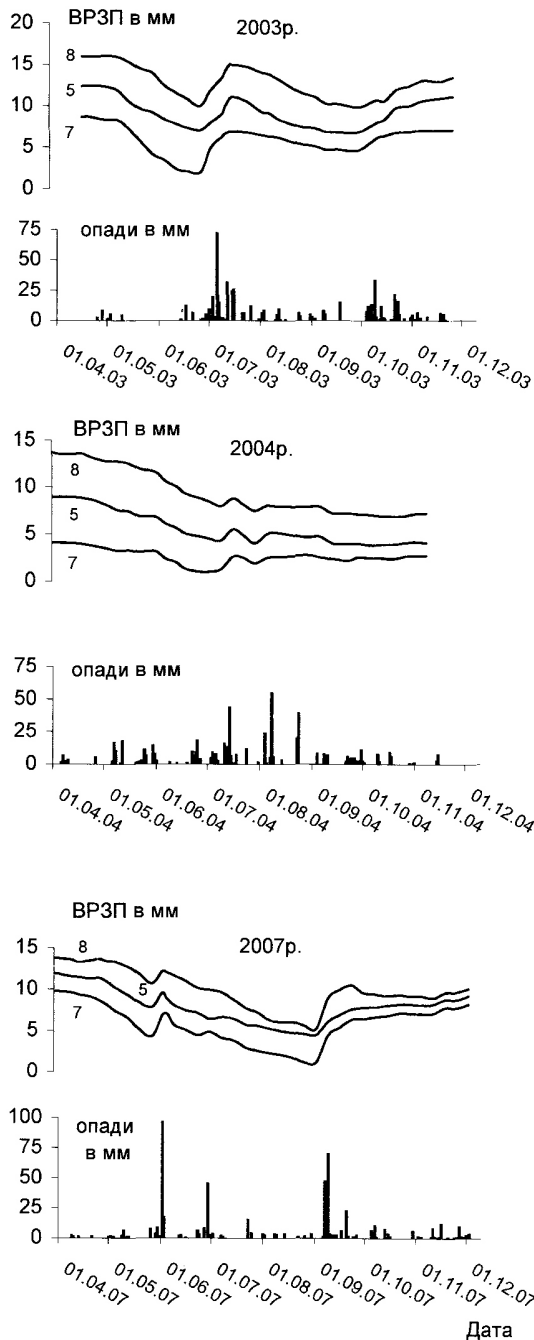


Рис. 3. Вплив атмосферних опадів на ВРЗП. Роки зі значними опадами

Розділити між собою витратні складові E_n і E_m доволі важко, а для наших цілей у цьому немає необхідності. Сумарна дія випаровування та транспірації називається евапотранспірацією E .

Том:

$$W_k - W_n = r - E, \quad (2)$$

де

$$E = E_n + E_m. \quad (3)$$

З початку літа 2006 р. на ГМП у Полтаві паралельно із спостереженням ВРЗП визначається вологість верхнього 1-метрового шару ґрунту поблизу розташування реперів 5, 7 і 8 термостатно-ваговим методом. На рис. 5 показано ВРЗП та

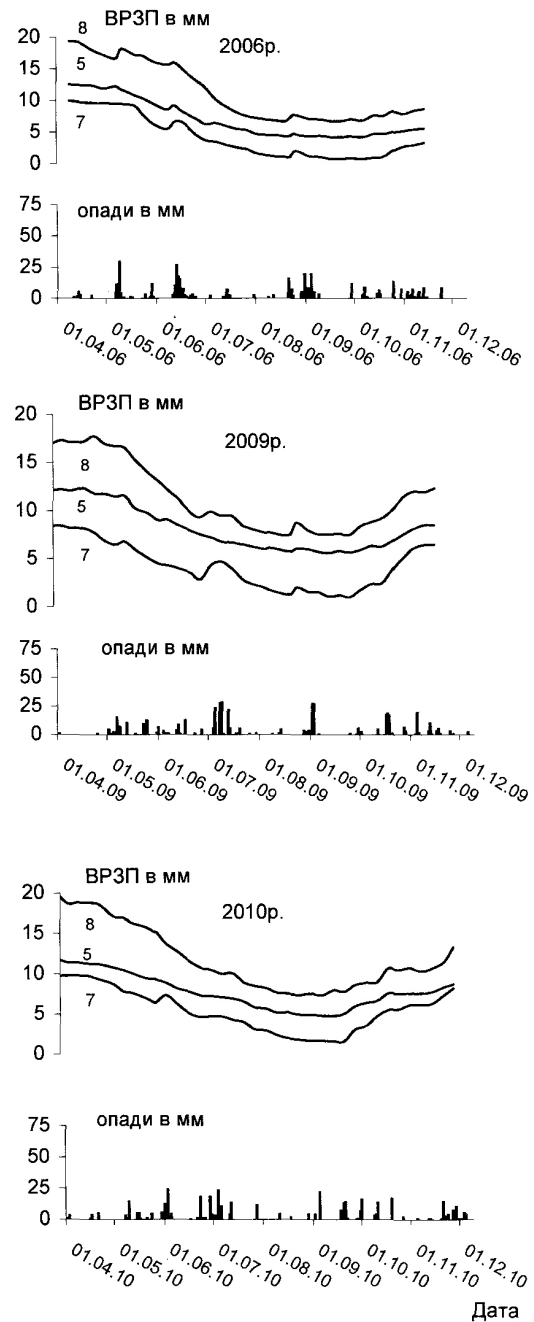


Рис. 4. Вплив атмосферних опадів на ВРЗП. Роки з незначними опадами

вологість ґрунту за 2006–2010 рр. на ГМП у Полтаві за винятком періодів, коли ґрунт перебував у мерзломому стані і його вологість не визначалась.

Відзначимо існування дуже тісного кореляційного зв'язку між цими параметрами – від 0,74 (репер 8) до 0,84 (репер 7) за довжини масиву більше ніж 180 значень.

Такий тісний кореляційний зв'язок дає нам підстави стверджувати, що вертикальні переміщення земної поверхні залежать від витратної та прихідної частини водного балансу ґрунту. Витратна складова – евапотранспірація діє безперервно і зумовлює постійне плавне опускання земної поверхні, оскільки на короткому інтервалі часу у конкретному місці на

фізичній поверхні землі цей чинник не може змінюватись різко. Прихідна складова водного балансу – опади, які в залежно від кількості можуть істотно змінювати вологість ґрунту і, як наслідок, викликати підняття земної поверхні з різною швидкістю, зокрема і стрибкоподібні.

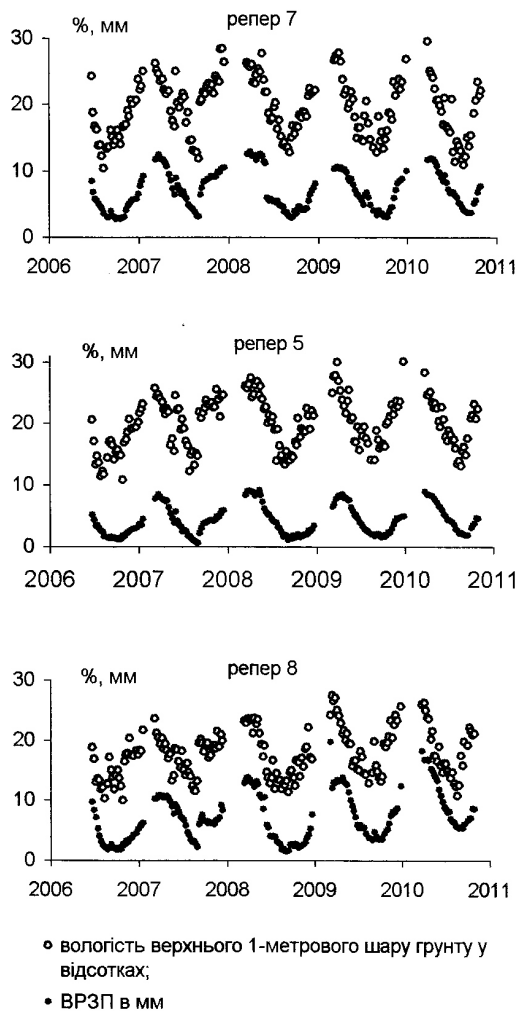


Рис. 5. ВРЗП і варіації вологи на ГМПІ у Полтаві

Отже, обидві складові водного балансу одночасно впливають на вертикальні переміщення земної поверхні. Якщо за певний проміжок часу сумарна кількість опадів перевищує випаровування та транспірацію вологи, то земна поверхня буде підніматись. Якщо ж надходження та витрати вологи будуть однакові, то вертикальне положення земної поверхні залишиться незмінним внаслідок взаємокомпенсації дії цих чинників.

Тому визначення впливу атмосферних опадів на ВРЗП неможливе без врахування дії евапотранспірації.

Вплив евапотранспірації на ВРЗП

Для визначення дії евапотранспірації на ВРЗП ми діяли так. Вибрали з масиву спостережень за вертикальними переміщеннями земної поверхні

періоди, коли опади були відсутні або зовсім незначні (в середньому не більше 0,4 мм за добу). Необхідною умовою була також відсутність опадів впродовж кількох діб перед початком кожного з вибраних інтервалів. Усього за 2001–2010 рр. вибрано більше 50-ти таких періодів середньою тривалістю 12 діб (найменша – чотири доби, найбільша – 22 доби). На рис. 6 показано величини добового опускання земної поверхні внаслідок дії евапотранспірації за даними спостережень реперів 5, 7 і 8 залежно від пори року. Отримані залежності апроксимовані поліномами 3-го порядку.

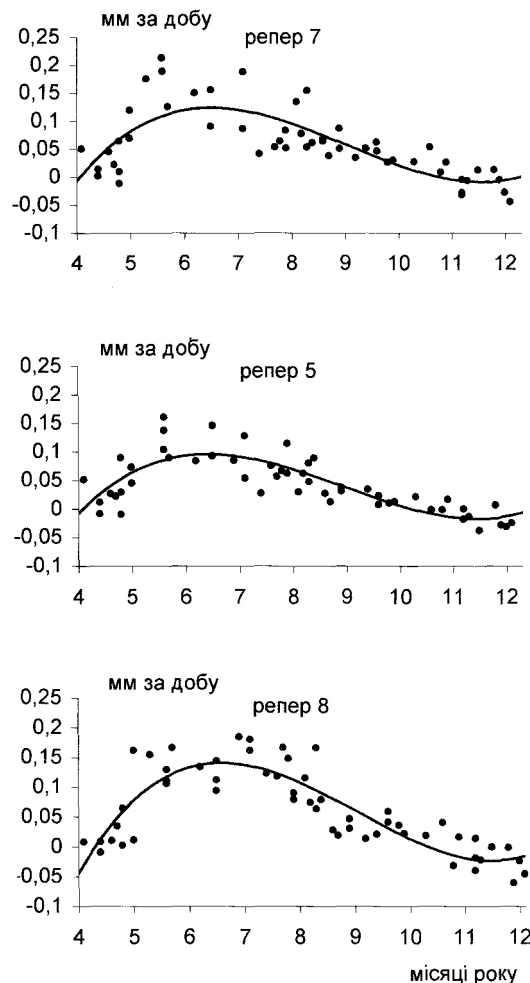


Рис. 6. Величини добового опускання земної поверхні внаслідок дії евапотранспірації

Можна з упевненістю говорити про існування сезонних закономірностей впливу евапотранспірації на ВРЗП. З початку квітня до середини червня величина щоденного опускання поверхні землі постійно збільшується від нуля до 0,1–0,2 мм за добу. Після цього швидкість опускання поступово зменшується. У листопаді – грудні евапотранспірація фактично не діє на вертикальні переміщення земної поверхні.

Величина евапотранспірації залежить від багатьох чинників: температури повітря і ґрунту, величини вологості ґрунту, стану покриття земної по-

верхні, періоду розвитку рослин тощо. Саме цими причинами певною мірою можна пояснити розбіжності окремих значень добового опускання земної поверхні на рис. 6.

Відзначимо, що характер впливу евапотранспірації на ВРЗП у місці розташування реперів 5, 7 і 8 є однаковим, а різна його величина залежить, очевидно, від локальних особливостей в зоні розміщення кожного з них.

Вплив атмосферних опадів на ВРЗП

Вище показано, що за відсутності опадів земна поверхня опускається під дією евапотранспірації з різною швидкістю залежно від пори року. Для дослідження безпосереднього впливу опадів із масиву даних про ВРЗП за 2001–2010 рр. вибрано більше 60-ти періодів часу з помірними та значними дощами. Середня тривалість таких періодів становила 13 діб, найменша – 6 діб, а максимальна – 28 діб. Критерії вибору такі: середня добова кількість опадів у вибраному інтервалі не повинна бути менша, ніж 2 мм (найбільша становила 14 мм), відсутність опадів впродовж кількох діб перед початком і після закінчення кожного вибраного дощового періоду. Перший критерій вибраний з метою врахування лише тих опадів, величина яких здатна змінити вологість ґрунту і відобразитись на вертикальних переміщеннях земної поверхні. Другий – для упевненості у тому, що зміни у вертикальному положенні земної поверхні зумовлені виключно дощами, які відбулись у межах вибраного періоду часу.

Досліджуючи вплив атмосферних опадів, обов'язково потрібно врахувати дію евапотранспірації на ВРЗП. Для оцінки впливу опадів на ВРЗП ми ввели коефіцієнт k_i для кожного з вибраних інтервалів i :

$$k_i = \frac{H_k - H_n + \sum_{j=1}^n E_j(P_3)}{\sum_{j=1}^n r_j}, \quad (4)$$

де H_n і H_k – вертикальне положення земної поверхні на початку і в кінці вибраного інтервалу часу; $E_j(P_3)$ – величина добового опускання земної поверхні внаслідок дії евапотранспірації, яка задана поліномом 3-го порядку відповідно до рис. 6; r_j – величина атмосферних опадів за добу; $j = 1, \dots, n$ – порядковий номер доби вибраного періоду часу з помірними та значними опадами.

Коефіцієнт k_i показує, які зміни у вертикальному положенні земної поверхні викликає випадання 1 мм опадів. При цьому незначні опади, які відразу після випадання можуть бути витрачені на транспірацію наземними частинами рослин або випарувані з поверхні землі, не змінивши її вологості, до уваги не беруться.

На рис. 7 наведено коефіцієнти k_i , отримані за формулою (4) у місці розташування поверхневих реперів 5, 7 і 8. Крпками показано окремі значення коефіцієнтів кожного з вибраних періодів з помірними та значними опадами, а кривою – їх апроксимація поліномом 3-го порядку.

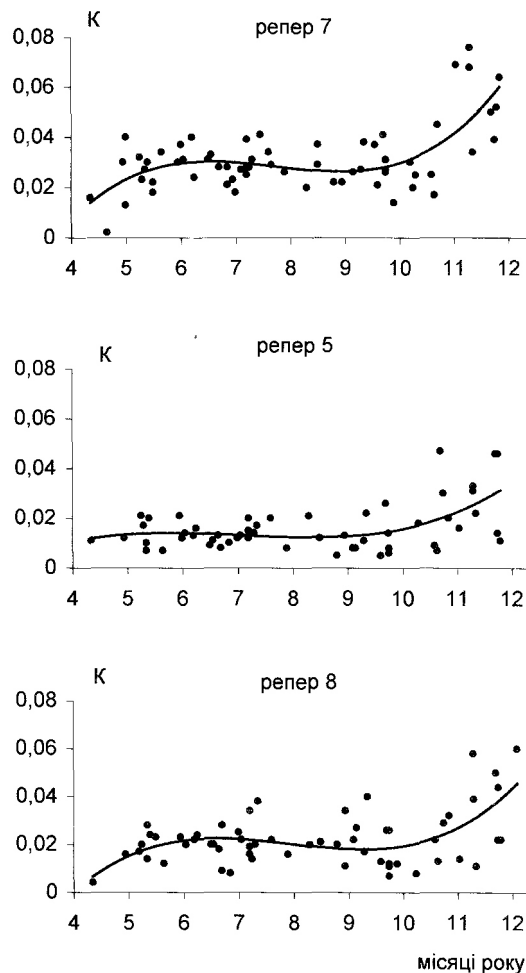


Рис. 7. Сезонні зміни коефіцієнта впливу атмосферних опадів на ВРЗП k в мм підняття земної поверхні під час випадання 1 мм опадів

Величина коефіцієнта k_i змінюється від 0,01 до 0,06 мм підняття земної поверхні під час випадання 1 мм опадів і залежить від умов у місці розташування репера та пори року. Коефіцієнт k_i для зони розташування репера 5 у два рази менший, ніж для репера 7. Зростання у два рази впливу опадів на ВРЗП відбувається в кінці осені, коли припиняється дія евапотранспірації на вертикальні переміщення земної поверхні.

Вплив опадів на ВРЗП на глибині 1,5–3,0 м від поверхні землі

Результати досліджень однозначно свідчать про те, що атмосферні опади зумовлюють верти-

кальні переміщення у верхньому 1-метровому шарі ґрунту на ГМП у Полтаві. Паралельно зі спостереженням поверхневих нівелірних знаків на ГМП у Полтаві визначались вертикальні переміщення реперів, закладених на глибинах 1,5, 2 і 3 м, що дає змогу дослідити збурювальну дію опадів на цих глибинах. Конструкція цих реперів виключає вплив на їхню стійкість деформацій, розташованих вище від шарів ґрунту. Сезонні ВРЗП на цих глибинах не перевищують 0,5–1,0 мм. Тому за наявності впливу опадів на вертикальні переміщення шарів ґрунту на цих глибинах його величина може знаходитись в межах точності нівелювання. Для виявлення дії атмосферних опадів на ВРЗП на глибинах 1,5–3,0 м вибрані роки з найінтенсивнішими опадами за десятирічний період виконання геодезичних спостережень. З метою зменшення випадкових помилок спостережень здійснено лінійне згладжування вихідного ряду ВРЗП на основі трьох суміжних точок. На рис. 8 показано згладжені дані про ВРЗП на глибинах 1,5, 2, 3,0 м і атмосферні опади у 2003, 2004 і 2007 рр.

З наведених даних можна зробити висновок, що значні і тривалі опади можуть викликати аномальні вертикальні переміщення шарів ґрунту на глибинах від 1 до 3 м від поверхні. Величини таких переміщень на вказаних глибинах можуть становити до 0,1–0,3 мм. Найчіткіше це проявилось у 2003 р., коли за період з 3 по 16 липня випало 190 мм опадів, що становить 230 % від місячної норми, або 31 % – від річної.

Висновки:

1. У середньосуглинистих за гранулометричним складом ґрунтах внаслідок підвищення їх вологості та набрякання під впливом атмосферних опадів можуть відбуватися порівняно швидкі (за час від кількох днів до кількох тижнів) підняття шарів ґрунту величиною від кількох десятих часток міліметра на глибині 3 м від поверхні до 5 мм на самій поверхні.
2. Вплив опадів на ВРЗП нерозривно пов'язаний з процесом евапотранспірації, що викликає необхідність враховування обох чинників.
3. Евапотранспірація викликає плавне постійне опускання земної поверхні і має чітко виражений сезонний характер. На ГМП у Полтаві її максимальний вплив на ВРЗП у верхньому 1-метровому шарі ґрунту відбувається у першій половині літа і становить 0,15–0,20 мм опускання земної поверхні за добу. У другій половині осені вплив евапотранспірації на динаміку верхнього шару ґрунту фактично відсутній.
4. Безпосередній вплив опадів на вертикальні переміщення верхнього шару ґрунту впродовж року становить 0,01–0,03 мм підняття поверхні землі під час випадання 1 мм помірних та значних опадів. З другої половини осені цей вплив зростає вдвічі.

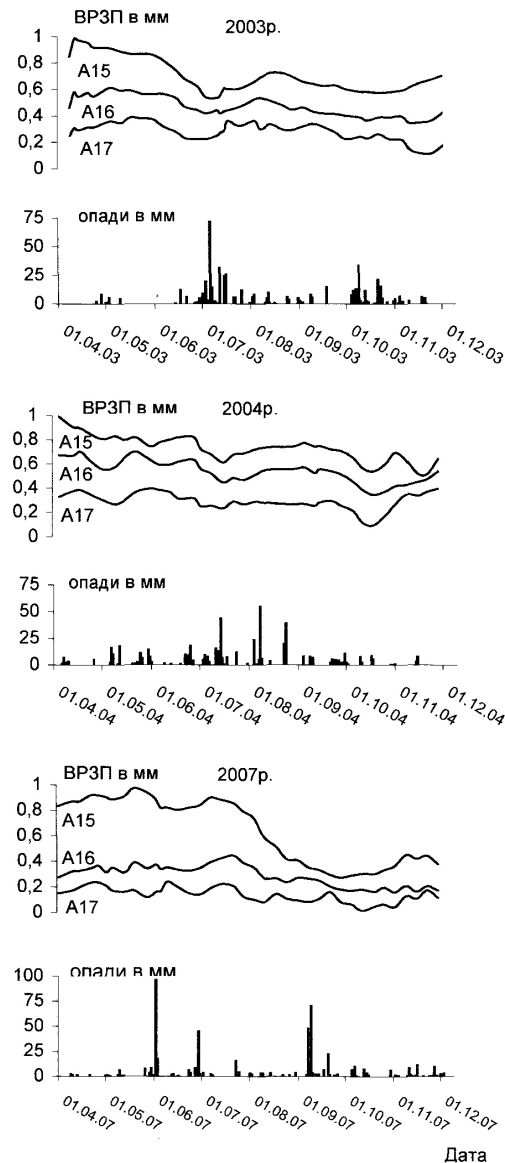


Рис. 8. Вплив атмосферних опадів на ВРЗП на глибинах 1,5–3,0 м. A15 – репер глибиною 1,5 м; A16 – репер глибиною 2 м; A17 – репер глибиною 3 м

Наведені вище числові характеристики впливу опадів та евапотранспірації відповідають гранулометричному складу ґрунту та локальним особливостям балансу вологи на ГМП у Полтаві. Тим не менше, подібна дія атмосферних опадів буде характерною для усіх ґрунтів, до складу яких входять глинисті компоненти, які можуть змінювати свій об'єм внаслідок змін вологості. Саме такі ґрунти переважають на території усієї України і є домінуючими в її центральній, південній та східній частинах. Зроблені висновки стосуються лише тих періодів року, коли ґрунт не перебуває у мерзломому стані.

Література

Атлас природных условий и естественных ресурсов Украинской ССР. – М.: ГУГК, 1979. – 183 с.

- Барабаш М.Б., Гребенюк Н.П., Татарчук О.Г. Особливості зміни ресурсів тепла та вологи в Україні при сучасному потеплінні клімату // Наук. праці УкрНДГМІ. – 2007. – Вип. 256. – С. 174–186.
- Павлик В.Г. Дослідження сезонних гідротермічних деформацій земної поверхні на різних глибинах // Геодезія, картографія та аерофотознімання. – 1999. – Вип. 59. – С. 19–23.
- Павлик В.Г. Сезонні гідротермічні вертикальні рухи земної поверхні в умовах різних за гранулометричним складом ґрунтів // Геодинаміка. – 2010. – № 1 (9). – С. 22–27.
- Павлык В.Г., Кутный А.М., Булацен В.Г., Корба П.С. Геодинамический полигон вблизи Полтавы. Первые результаты исследований. – Вращение и приливные деформации Земли. – Київ: Наук. думка. – 1992. – С. 61–66.
- Павлик В.Г., Кутный А.М., Криптова В.В., Тишук М.Ф. Вплив вологості ґрунту на сезонні вертикальні деформації земної поверхні // Геодезія, картографія та аерофотознімання. – 1996. – Вип. 57. – С. 55–64.
- Чирков Ю.И. Агрометеорология. – Ленинград: Гидрометиздат. – 1979. – 320 с.
- Harnisch G., Harnisch M., Falk R. Hydrological influences on the gravity variations recorded at Bad Homburg // *Marees Terrestres Bulletin d'Informations*. – 2006. – 142. – P. 11331–11342.
- Jentzsch G., Graupner S., Weise A., Ishii H., Nakao S. Environmental effects in tilt data of Nokogiriyama Observatory // *Marees Terrestres Bulletin d'Informations*. – 2002. – 137. – P. 10931–10936.
- Meurers B. Long and short term hydrological effects on gravity in Vienna // *Marees Terrestres Bulletin d'Informations*. – 2006. – 142. – P. 11343–11351.
- Westerhaus G., Welle W. Environmental effects on tilt measurements at Merapi volcano // *Marees Terrestres Bulletin d'Informations*. – 2002. – 137. – P. 10917–10930.

ВЛИЯНИЕ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ НА ВЕРТИКАЛЬНЫЕ ДВИЖЕНИЯ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ НА ГЕОДИНАМИЧЕСКОМ МИКРОПОЛИГОНЕ В ПОЛТАВЕ

В.Г. Павлык

На основании десятилетних наблюдений на геодинамическом микрополигоне в Полтаве выполнена оценка влияния атмосферных осадков на вертикальную составляющую движений верхнего слоя почвы и земной поверхности. Приведены численные характеристики воздействия атмосферных осадков и эвапотранспирации на вертикальные смещения земной поверхности, а также их сезонные особенности.

Ключевые слова: вертикальные движения земной поверхности; атмосферные осадки; эвапотранспирация; влажность почвы.

INFLUENCE OF ATMOSPHERIC PRECIPITATION ON VERTICAL MOVEMENTS OF EARTH'S SURFACE IN GEODYNAMIC MICROPOLYGON IN POLTAVA

V.G. Pavlyk

On the basis of ten years observation in geodynamic micropolygon in Poltava an estimation of influence of atmospheric precipitation on the vertical movements of the upper layer of soil and of the earth's surface is carried out. Numerical characteristics of influence of atmospheric precipitation and evapotranspiration on vertical displacements of earth's surface and also their seasonal features are given.

Keywords: vertical movements of earth's surface; atmospheric precipitation; evapotranspiration; humidity of soil.