

УДК 551.3:528.88(477)

Використання космічної інформації для прогнозу розвитку небезпечних геологічних процесів (підтоплення та затоплення) на прикладі окремих районів м. Києва

В. Є. Філіпович *

ДУ "Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України", Київ, Україна

На основі аналізу просторово-часових рядів даних космічної зйомки у тепловому діапазоні та цифрових моделей рельєфу прогнозується розвиток ділянок підтоплення та затоплення в окремих районах м. Києва. Головна причина затоплень — рельєф міста і порушення природної фільтрації зливових вод внаслідок міської забудови. Основний вклад у розвиток ділянок підтоплення вносять баражі на шляхах ґрунтових вод похованої гідромережі.

Ключові слова: супутниковий моніторинг, теплова космічна зйомка, цифрові моделі рельєфу, підтоплення, затоплення

© В. Є. Філіпович. 2015

В умовах сучасного росту урбанізації відбувається інтенсифікація небезпечних екзогенних процесів внаслідок порушення стійкості природних ландшафтів і техногенного навантаження на геологічне середовище. На території Київської агломерації до одних із найбільш загрозливих процесів відносяться процеси підтоплення ґрунтів і затоплення окремих територій внаслідок зливових опадів і катастрофічних повеней.

За рахунок затоплення і підтоплення істотно погіршуються інженерно-геологічні властивості ґрунтів, порушується стійкість літогенної основи, руйнуються фундаменти та підземні комунікації, що веде до деформацій надземної частини будівель і споруд. Застійний гідрологічний режим у місцях накопичення ґрунтових вод погіршує санітарно-епідеміологічний стан міста. Прогнозування динаміки розвитку процесів підтоплення і затоплення, визначення ареалів їх розповсюдження та запобігання цим несприятливим для життєдіяльності людини явищам є важливим завданням геоecологічних досліджень на урбанізованих територіях. Таким чином дослідження процесів підтоплення і його наслідків для екології міста є достатньо актуальною.

З розвитком космічного сектору досліджень геологічного середовища з'явився потужний інструмент моніторингу довкілля і зокрема динаміки небезпечних екзогенних процесів. Становлення і розвиток методів аерокосмічних досліджень у гідрогеології пов'язано з іменами багатьох українських вчених, серед яких значний вклад внесли В. І. Лялько, М. М. Митник, Л. Д. Вульфсон, Б. О. Ніколаєнко, О. О. Янцевич, О. М. Трофимчук, А. Г. Мичак, О. М. Терещенко та ін. На сучасному рівні подальший розвиток застосування космічної інформації у даль-

ньому (тепловому) ІЧ-діапазоні при вирішенні екологічних задач отримав у Центрі аерокосмічних досліджень Землі ІГН НА України.

Зауважимо, що при застосуванні теплових космічних даних при вивченні урбанізованих територій забудовані площі, як правило, виключались із аналізу [1]. В даній роботі розглядаються можливості комплексування даних обробки теплового космічного зондування з аналізом цифрових моделей рельєфу і гідрогеологічних даних саме для забудованих територій міста.

Як приклад наводяться дві ділянки м. Києва, розташовані у різних частинах міста з неоднаковими ландшафтними умовами.

Перша ділянка охоплює центральну частину міста (рис. 1 А) і характеризується пересіченою місцевістю з перепадом абсолютних висот до 90 м. Друга ділянка розташована на терасі р. Дніпро і характеризується плоским рівнинним рельєфом (рис. 2).

В умовах щільної забудови, запечатування природного ґрунтового-рослинного шару асфальтобетонним покриттям і значних перепадів рельєфу, у разі тривалих зливових дощів, або швидкого танення снігу виникає загроза затоплень багатьох територій міста.

На рис. 1 показано результати послідовного аналізу матеріалів космічних та гідрогеологічних даних для прогнозу ділянок можливого затоплення території в районі пл. Перемоги. За матеріалами космічного знімання та побудованої цифрової моделі рельєфу з комп'ютерним виділеннями ліній поверхневого стоку фіксуються декілька вузлів концентрації поверхневого стоку у районі Караваєвих дач, північних платформ Київського залізничного вокзалу, універмагу "Україна" та залізничного мосту через вул. Л. Толстого (рис. 1 А, Б). Лінії стоку, що трасуються у південно-східному та південному напрямку, проходять по аре-

*filin@casre.kiev.ua

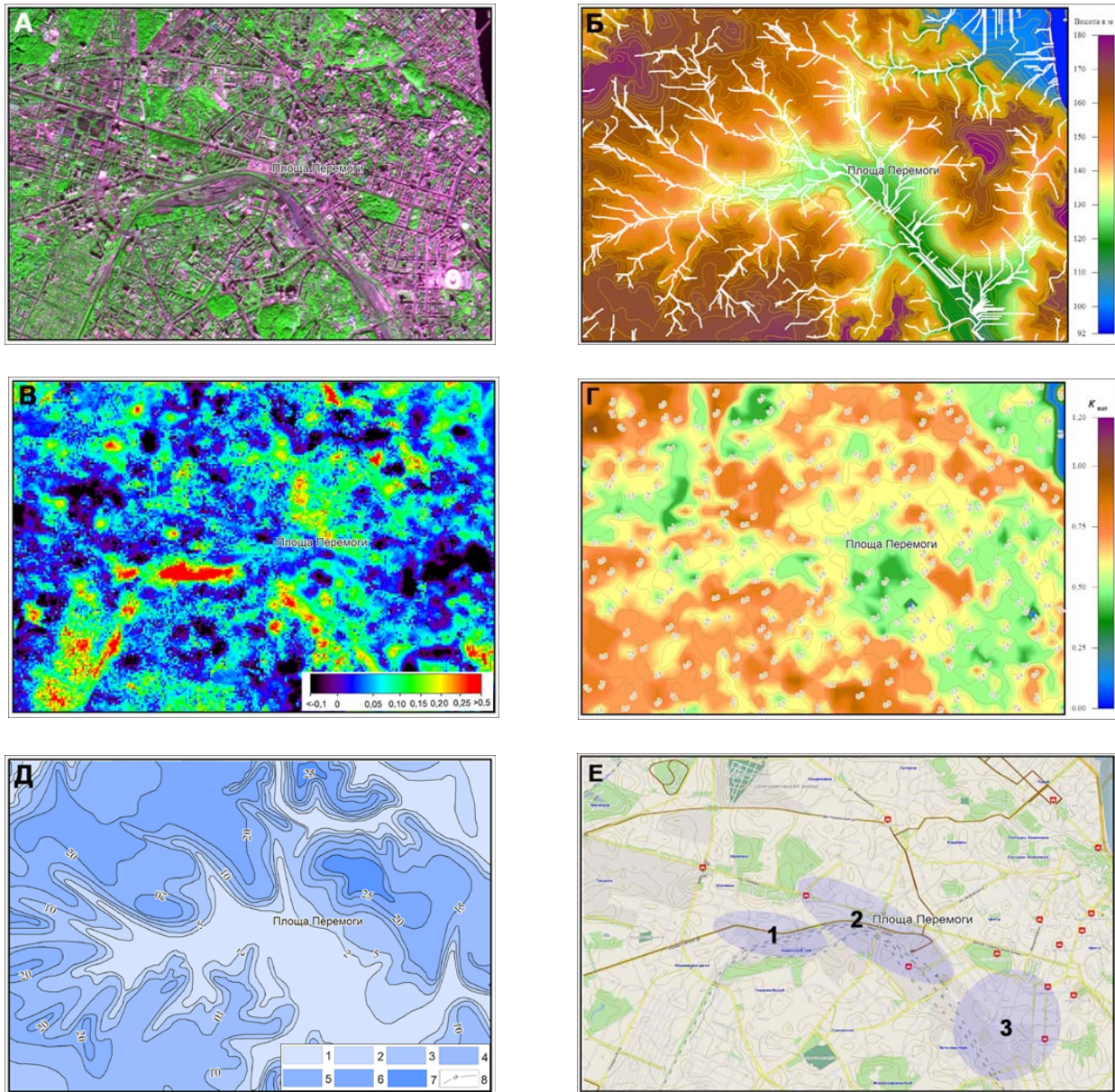


Рис. 1. Приклад послідовного аналізу космічної та гідрогеологічної інформації при прогнозуванні зон затоплення внаслідок аномальних метеорологічних явищ (зливові дощі, швидке танення снігу):

А — космічне зображення ділянки досліджень, КЗ “Січ-2” 05.10.12; Б — цифрова модель рельєфу з векторами стоку поверхневих вод; В — карта приросту температури поверхні міського середовища за даними часового аналізу теплової космічної зйомки (1985–2014 рр.); Г — фрагмент карти випаровуваності з поверхні міського середовища за даними обробки космічних матеріалів (В. І. Горний, С. Г. Крицук та ін., 2015, НДЦЕБ РАН, Санкт-Петербург); Д — фрагмент карти глибини залягання ґрунтових вод за усередненими даними 1967–2007 рр. (В. І. Лялько, А. В. Матошко, О. Р. Спиця, 2007, ЦАКДЗ НАН України, Київ); Е — прогнозні ділянки затоплення та потенційного підтоплення.

Умовні позначення: Д — глибина залягання першого від поверхні водоносного горизонту: 1 — < 2 м, 2 — 2–5 м, 3 — 5–10 м, 4 — 10–15 м, 5 — 15–20 м, 6 — 20–25 м, 7 — > 25 м, 8 — ізолінії глибин залягання ґрунтових вод. Е — прогнозні ареали можливого затоплення: 1 — район залізничної станції Караваєві дачі, 2 — район пл. Перемоги, 3 — район вул. Григоренка та Олімпійського стадіону

алам з низькими значеннями випаровуваності (рис. 1 Г), які переважно приурочені до ділянок щільної забудови та з низьким ступенем відкритого ґрунтового-рослинного покриття. Перепад абсолютних висот рельєфу на цих ділянках досягає від 50–55 м на 2–2,5 км (північно-західна частина) до 60–70 м на 1–1,5 км (північно-східна). В таких умовах зливові дощі приводять до формування бурхливих потоків води, що стікає з київських пагорбів вздовж заасфальтованих вулиць до пл. Перемоги і долини р. Либідь. Зливово ка-

налізація та колектори швидко заповнюються та переповнюються великим об’ємом води, відбувається підпір зливостоків високим рівнем води р. Либідь, що призводить до затоплення значних ділянок вздовж древньої долини р. Либідь (проспект та площа Перемоги, привокзальні вулиці і підземні переходи тощо). Така ситуація часто повторюється. Так за останні роки затоплення в указаних місцях спостерігалось в 2008, 2010, 2012, 2013, 2014 роках. За даними аналізу багаторічного часового ряду (1985–2014 рр.) теплової

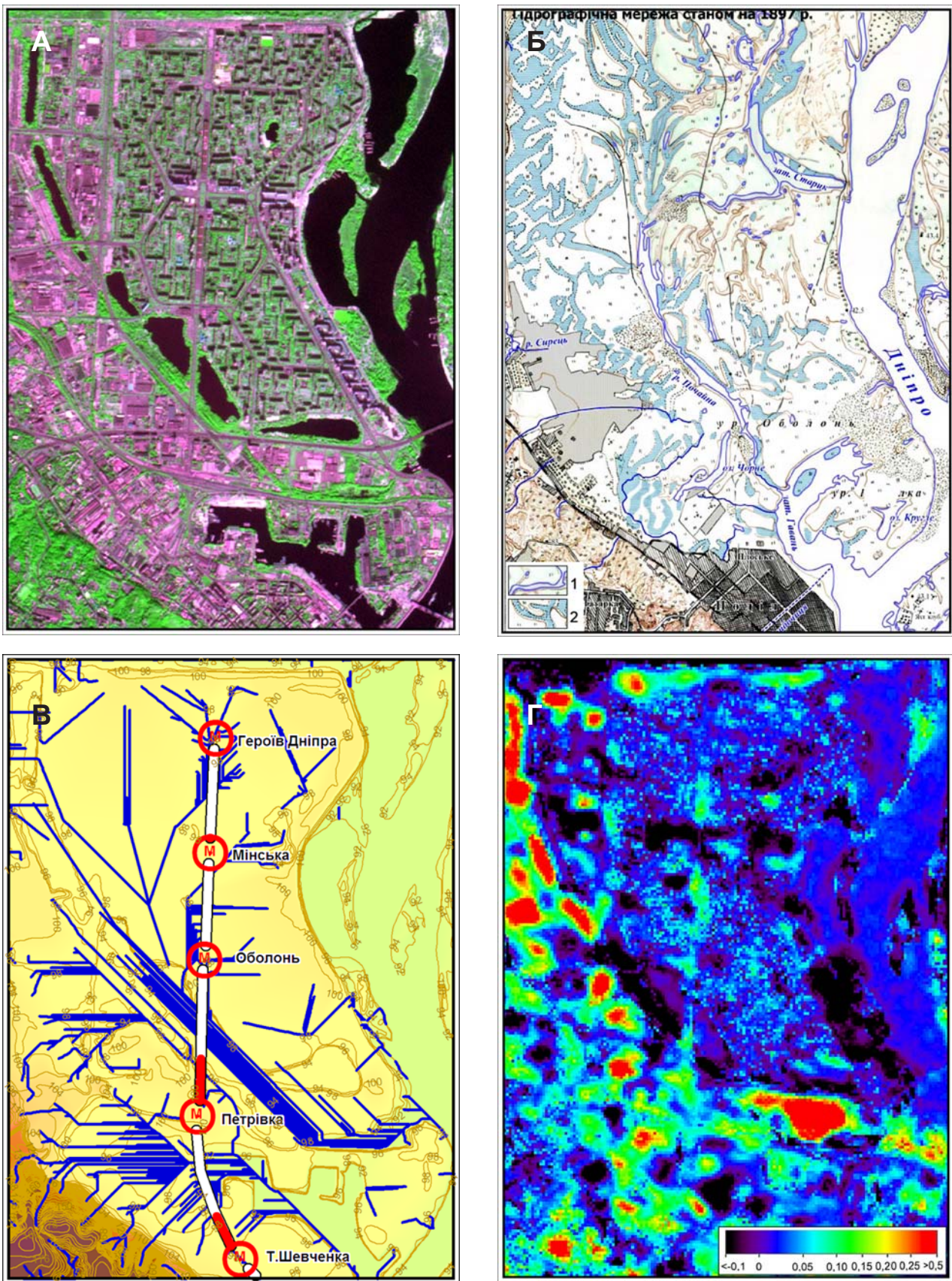


Рис. 2. Приклад послідовного аналізу космічної та гідрогеологічної інформації при прогнозуванні зон підтоплення внаслідок бурхливого паводку. А — космічне зображення ділянки досліджень, КЗ «Січ-2» 05.10.12; Б — історична гідромережа станом на 1897 р. В — цифрова модель рельєфу з векторами стоку поверхневих та ґрунтових вод; Г — карта приросту температури поверхні міського середовища за даними просторово-часового аналізу теплової космічної зйомки (1985–2014 рр.). Умовні позначення: Б — елементи гідромережі: 1 — річки, струмки та контури озер, 2 — болота

космічної зйомки у літній період (рис. 1 В) вказаних місцях фіксуються мінімальні градієнти приросту середніх температур міської поверхні. Можливо припустити, що охолоджуючий ефект у цих місцях пов'язаний з конденсацією вологи під непроникними поверхнями, високим рівнем ґрунтових вод та розвитком процесів підтоплення. Підґрунтям такого припущення може слугувати карта глибини залягання ґрунтових вод (рис. 1 Д), де на вказаних місцях рівень ґрунтових вод нижче 2 м, які за будівельними нормами ДБН В.1.1-24-2009 [2] розглядаються як потенційно підтоплені.

На основі поєднання наведених даних можна спрогнозувати розвиток ділянок затоплення та потенційного підтоплення, що наведено на рис. 1 Е. У цих місцях особливу увагу необхідно приділяти контролю за цілісністю інженерних споруд та вести детальний моніторинг рівня ґрунтових вод і вологості ґрунтів.

Друга ділянка охоплює Оболонський житловий масив (рис. 2 А). В даний час головними екологічними проблемами Оболонського ділянки є підтоплення ґрунтовими водами і просідання ґрунтів. На представленій території підйом рівня ґрунтових вод відбувається в результаті ліквідації природного стоку в Дніпро водних мас р. Почайна, яка була природною дренажною для ґрунтових вод району Оболоні (рис. 2 Б). Після потужного гідронамиву піску під будівництво житлового масиву природні дрени були ліквідовані. В даний час штучні озера, розташовані в межах колишнього русла р. Почайна, в результаті створення підпору стали зонами живлення ґрунтових вод, яке призводить до їх підйому в районі похованих русел і стариць (рис. 2 А, Б). Аналіз цифрової моделі рельєфу з комп'ютерним виділеннями ліній поверхневого стоку показує, що поверхневий сток на сучасному часовому зрізі практично не змінився по відношенню до часів, які передували забудові території Оболонського масиву (рис. 2 Б, В). Лінії стоку перетинають масив з північного заходу і заходу на схід до русла р. Дніпро, а найбільша їх концентрація відмічається вздовж похованої долини р. Почайна. На матеріалах обробки космічної теплової зйомки за багаторічний період (1985–2014 рр.) (рис. 2 Г) в цих місцях фіксуються мінімальні градієнти приросту середніх температур земної поверхні. Крім того, виявлена значна кількість інших місць теплових мінімумів, що потребує пояснення.

Раніше виконаний детальний аналіз аерокосмічних даних у видимому діапазоні [3] показав, що заміна природного ґрунтового покриву забудованими і заасфальтованими територіями, практично виключила з водного балансу випаровування з поверхні ґрунту. Ці обставини, в поєднанні з повною або частковою ліквідацією природних дренажів, призвело до подальшого підйому дзеркала ґрунтових вод, підтопленню фундаментів будівель, зниження несучої здатності літогенної основи і, як наслідок, до можливої дефор-

мації і руйнування будівельних конструкцій. Однією з можливих причин розвитку підтоплення, на наш погляд, є побудова на цій ділянці висотних будівель, з заглибленими фундаментами та підземними паркінгами, що визивають баражі на шляху природного дренажу вздовж елементів похованої історичної гідромережі. Також було виявлено, що не все історичне русло р. Почайни залишилося в межах сучасних озер. Частина русла, разом з повноводними старицями, знаходиться під намивними ґрунтами. Тут, по всій ймовірності, і знаходяться осередки підтоплення житлового масиву, що проявляються на матеріалах теплового космічного зондування.

Інший чинник, який призводить до підйому рівня ґрунтових вод — мулисті відкладення з пористістю до 90%, що знаходяться на дні, поховані під намивними ґрунтами, річок, стариць і озер. При їх ущільненні під тиском техногенних факторів (шар намитого ґрунту потужністю 5–8 м, будівлі, дороги) мулисті відкладення перетворюються в слабо проникні шари і сприяють утворенню лінз “верховодки”. Таким чином, спільно діють два негативних процеси: підтоплення окремих споруд та їх просідання в результаті локального ущільнення ґрунту. Місцезнаходження мулистих відкладень було простежено на різночасових зрізах моделей гідромережі [3] і, в загальних рисах, співпало з середніми та пониженими значеннями приросту поверхневих температур. Вздовж лінії метрополітену, що перетинає ділянку з півночі на південь (рис. 2 В), також фіксується низка малих значень теплових градієнтів. Можливою причиною може бути бражний ефект від тунелів метрополітену, що залягають тут на малій глибині і перекривають природні дренажі з заходу на схід до долини р. Дніпро. Спільний аналіз наведених даних разом з картою рівня залягання ґрунтових вод (рис. 3 А) дозволив виділити осередки потоплення і намітити найбільш потенційно небезпечні ділянки (рис. 3 Б), де, в першу чергу, необхідно зміцнення підземних комунікацій, підвальних приміщень та фундаментів житлових будинків.

Таким чином, використання матеріалів дистанційного зондування у тепловому діапазоні при вивченні затоплення і підтоплення урбанізованих територій дозволяє визначати проблемні, з геоекологічної точки зору, місця розвитку несприятливих геологічних процесів і розробляти рекомендації для прийняття управлінських рішень. Головним причинами затоплень є рельєф міста і порушення природної фільтрації ливневих вод внаслідок щільної міської забудови. Основний вклад у розвиток ділянок підтоплення вносять баражі на шляхах ґрунтових вод похованої гідромережі.

Зауважимо на останок, що дана робота носить дещо схематичний характер, а розробка методики використання теплової космічної зйомки при дослідженнях урбанізованих територій з щільною забудовою потребує подальших детальних досліджень.

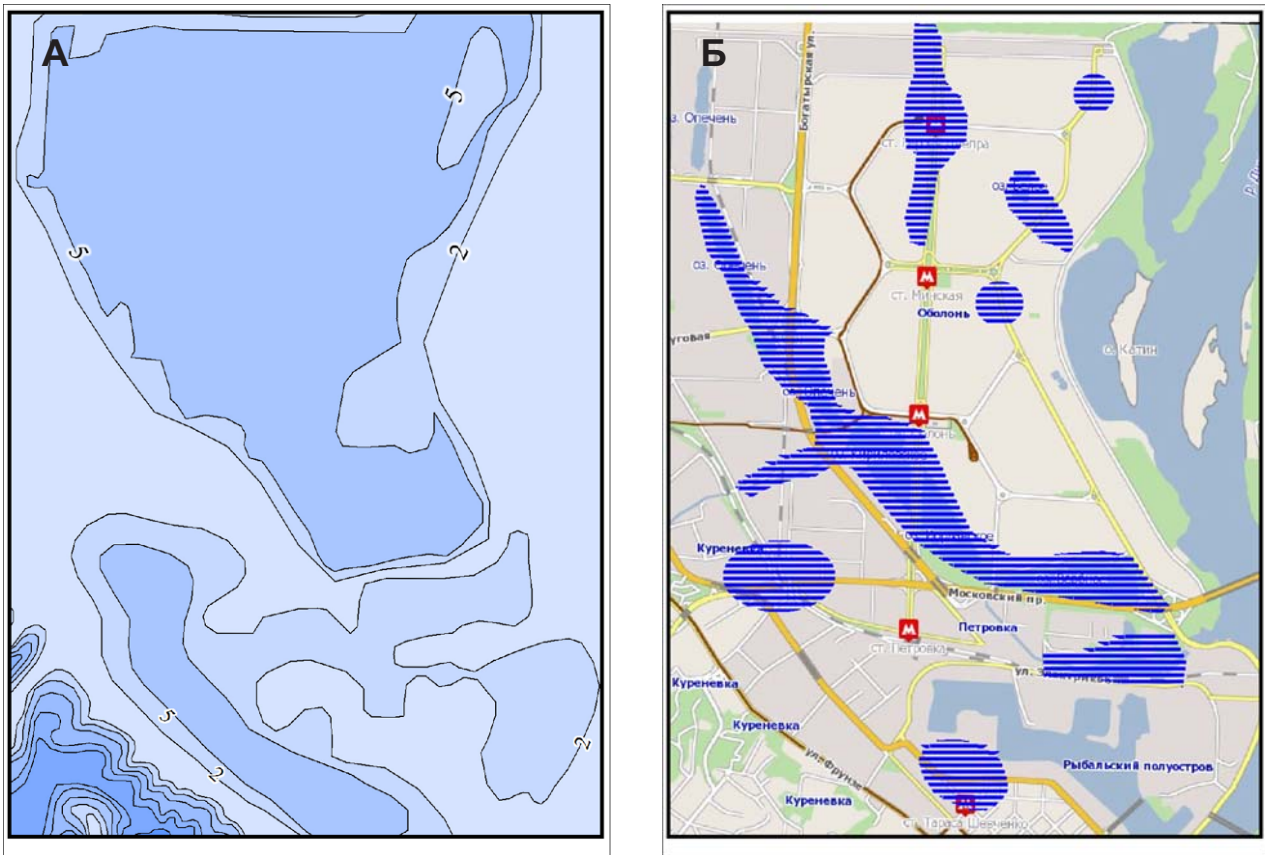


Рис.3. Прогноз підтоплення ґрунтів в Оболонському житловому масиві. А — фрагмент карти глибини залягання ґрунтових вод за усередненими даними 1967–2007 рр. (В. І. Лялько, А. В. Матюшко, О. Р. Спиця, 2007, ЦАКДЗ НАН України, Київ). Умовні позначення див. на рис. 1; Б — ділянки потенційного підтоплення за комплексом наведених даних

Література

1. Арістов М. В. Аерокосмічні методи моніторингу несприятливих та небезпечних геологічних процесів в урбогеосистемах (на прикладі міста Києва) / М. В. Арістов // Збірник матеріалів МНПК «Перший Всеукраїнський з'їзд екологів» [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://eco.com.ua/sites/eco.com.ua/files/lib1/konf/1vze/zb_m/0040_zb_m_1VZE.pdf (актуально, 2015).
2. ДБН В.1.1-25-2009 Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Захист від небезпечних геологічних процесів. Інженерний захист територій та споруд від підтоплення та затоплення. — К: Міністерство регіонального розвитку та будівництва України, 2009. — 51 с.
3. Терemenko O. M. Мониторинг гидросети урбанизованных территорий и прогноз локализации опасных природных процессов на основе ГИС/ДДЗ технологий / А. Н. Терemenko, А. Г. Мычак, В. Е. Филиппович // Вестник ИрГТУ. — 2011. — №8. — С. 54–59.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОСМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ПРОГНОЗА РАЗВИТИЯ ОПАСНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ (ПОДТОПЛЕНИЕ И ЗАТОПЛЕНИЕ) НА ПРИМЕРЕ ОТДЕЛЬНЫХ РАЙОНОВ Г. КИЕВА

В. Е. Филиппович

На основе анализа пространственно-временных рядов данных космической съемки в тепловом диапазоне и цифровых моделей рельефа прогнозируется развитие участков подтопления и затопления в отдельных районах г. Киева. Главная причина затоплений — рельеф города и нарушения естественной фильтрации ливневых вод в результате городской застройки. Основной вклад в развитие участков подтопления вносят барражи на путях грунтовых вод погребенной гидросети.

Ключевые слова: спутниковый мониторинг, тепловая космическая съемка, цифровые модели рельефа, подтопление, затопление

USE OF SPACE INFORMATION FOR FORECASTING THE DEVELOPMENT OF DANGEROUS GEOLOGICAL PROCESSES (UNDERFLOODING AND FLOODING) IN THE CASE OF INDIVIDUAL DISTRICTS KYIV

V. E. Filipovich

The analysis of space-time series of space images in the thermal range and digital elevation models is applied for the prediction of the development of the underflooded areas and flooding within the city of Kiev. The main reason for flooding - the landforms of the city and the changes in natural filtration of rainwater due to the urban development. The barrages on the groundwater flows along the buried river net is the main reason for the development of underflooded areas.

Keywords: satellite monitoring, thermal Remote Sensing, digital elevation model, underflooding, flooding