

ІV. ПРИРОДНИЧО-ГЕОГРАФІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

<http://doi.org/10.17721/1728-2721.2019.74.14>
УДК 511 і УДК 911.2.

О. Скриник, докторант
Варшавський університет, Варшава, Польща

ПЕРШІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ В ОБСЕРВАТОРІЇ НА ГОРІ ПІП ІВАН

Чорногора є найвищим гірським хребтом в Українських Карпатах. Тут розташовані шість вершин з висотою понад 2000 м над рівнем моря. Масив є кліматичним бар'єром для мас повітря по лінії північний захід – південний схід. Його вивчення має велике значення для розуміння фізико-географічних процесів цілого регіону. На додаток масив Чорногори є малодосліджений порівняно з іншими гірськими масивами Карпат.

На горі Піп Іван 29 липня 1938 року було відкрито Високогірну Метеорологічно-астрономічну обсерваторію (ВМАО). Обслуговує її Національний інститут метеорології (Польща). У приватних архівах були знайдені перші результати метеорологічних спостережень з Обсерваторії (жовтень 1938 – липень 1939). У них відображено значну динаміку добових змін параметрів погоди, що характерно для цих висот. Середньомісячні значення атмосферного тиску були нижчими для зимових місяців, ніж у літні місяці. Середня температура на г. Піп Іван за 10 місяців становила 0,8 °С. Варто відзначити, що загальна кількість опадів за період дослідження у Чорногорі була 942,5 мм. Постійний сніговий покрив на г. Піп Іван лежав від 5 грудня до 9 квітня. Середня швидкість вітру за 10 місяців становила 9,7 м·с⁻¹.

До початку Другої світової війни тут також була філія Астрономічної обсерваторії Варшавського університету. Місце є чудовим з точки зору віддаленості від джерел світла. Проте середня хмарність у жовтні 1938 – липні 1939 р. на г. Піп Іван становила 7,6 (за шкалою 0–10). Протягом 10 місяців було всього лише 18 днів із середньою хмарністю менше 20 %. Це дуже мало як для астрономічних обсерваторій.

Із доступних нам джерел точно знаємо, що за часів радянської окупації (з половини 1940 до череня 1941 р.) тут усе ще функціонувала метеорологічна станція із широким колом досліджень. Імовірно, після розпаду СРСР дані залишились в архівах Російської Федерації. Після Другої світової війни Обсерваторія була залишена та піддана руйнації.

Сьогодні Прикарпатський національний університет ім. Василя Стефаника і Варшавський університет активно відновлюють будинок. Інституція має назву Міжнародний науковий центр "Обсерваторія". У ній вже 24/7 діє українсько-польський гірський пошуково-рятувальний пост. Також плануються підрозділи: метеорологічні й астрономічні спостереження, комплексні науково-дослідні лабораторії науковців із широким спектром досліджень наук про Землю і середовище, місце практик для студентів і прихисток для туристів. Нещодавно (22 лютого 2019 р.) Прикарпатський університет підписав грантову угоду "Адаптація колишньої обсерваторії на горі Піп Іван для потреб високогірного рятувального центру", в якій передбачено встановлення сучасної метеорологічної станції, у межах якої плануються широкомасштабні дослідження з використанням автоматичної техніки вимірювання таких параметрів: атмосферний тиск (РА), температура повітря (середня – ТМ, мінімальна – ТН і максимальна – ТХ), хмарність (СС), опади (RR), товщина снігового покриву (SD), швидкість і напрямок вітру (WS і WDU). Базуючись на показниках сухого та вологого термометра і сенсора вологості, будуть розраховані своєчасні та середні значення тиску водяної пари (VP), відносної вологості (RH), температури точки роси (DWPТ), дефіцит вологості (VPD), а також евапотранспірація (ET). В Обсерваторії ще готуються до встановлення прилади сонячного випромінювання з великим спектром досліджуваних параметрів – від тривалості сонячного сяйва (SUD) чи альbedo (AL) до вимірів ультрафіолету А (UV-A) і Б (UV-B). До метеорологічної станції входить теж система моніторингу якості повітря, що замірятиме хімічні гази в атмосфері (е.г. O₃, SO₂, N_x, CO і CO₂). За підтримки інших інституцій спектр моніторингу якості повітря буде розширено.

Пункт для метеорологічних спостережень в МНЦ "Обсерваторія" є унікальним. Дослідники матимуть можливість постійного моніторингу елементів атмосфери і природного довкілля загалом на висоті більше 2000 м над рівнем моря. Метеорологічні дослідження в цьому місці є обґрунтованими і будуть основним завданням роботи Обсерваторії. Об'єкт щоденно використовуватиметься з метою попередження лавинної небезпеки чи у формі пошуково-рятувального пункту. Зважаючи на велику важливість цього гірського масиву в кліматичному відношенні, а також для розуміння фізико-географічних процесів загалом у регіоні, варто задіяти комплексне вивчення його середовища. Разом із спостереженнями, проведеними в інших районах Карпат, це дозволить нам повною мірою зрозуміти кліматичні особливості, а також природне середовище цілої системи Карпатських регіонів.

Ключові слова: Чорногора, Піп Іван, Обсерваторія, клімат, метеорологія.

Вступ. Постановка проблеми. Гірське середовище, особливо високогірне, є системою взаємопов'язаних біотичних, абіотичних і атмосферних елементів [1]. Гірські екосистеми дуже чутливі до коливань і змін клімату [14]. Екстремальні погодні ситуації (напр., сильні опади, теплові хвилі, морози, сильні вітри) здатні ефективно, іноді постійно, змінювати форму долин, профілі нахилів або рослинний покрив.

Карпати утворюють континентальний бар'єр, що впливає на клімат і функціонування екосистем у сусідніх регіонах. Щодо клімату Східні Карпати, у тому числі Чорногора, мало досліджені порівняно з іншими гірськими масивами у Європі. Чорногора є найвищим гірським хребтом в Українських Карпатах. Тут розташовані шість вершин з висотою понад 2000 м над рівнем моря. Вона утворює кліматичний і гідрологічний бар'єр на лінії північний захід – південний схід.

Піп Іван (Попіван – давня назва гори, яку дотепер використовує місцеве населення, також називають – Чорна Гора) розташований на крайньому півдні Чорногори ($\varphi = 48^{\circ}02'46''$ and $\lambda = -24^{\circ}37'42''$) і має висоту 2028 м

над рівнем моря. 29 липня 1938 року урядом Польщі тут було відкрито Високогірну Метеорологічно-астрономічну обсерваторію (ВМАО). Її діяльність перервав початок Другої світової війни. Обсерваторія пропрацювала неповний рік. Усі найважливіші записи спостережень зникли безслідно. До наших днів збереглися лише результати метеорологічних спостережень (*пол. Wyniki Spoztrzezeń Meteorologicznych*), що проводилися тричі на день для кліматичних цілей. Їхні копії були щасливо знайдені в приватних колекціях і попередньо представлені у виданні "Review of Geophysics" з порівнянням до результатів в Обсерваторії на горі Каспрів Верх, що в Татрах [21].

Про відбудову Обсерваторії на г. Піп Івані почали говорити, ще в 90-х роках ХХ століття [4]. Однак тільки сьогодні завдяки консорціуму Прикарпатського національного університету ім. Василя Стефаника та Варшавського університету вдалось приступити до активних дій відновлення колишньої Високогірної Метеорологічно-астрономічної обсерваторії. 22 лютого 2019 підписано грантову угоду щодо проекту "Адаптація ко-

лишньої обсерваторії на горі Піп Іван для потреб високогірного рятувального центру" в рамках якої передбачено встановлення автоматичної метеорологічної станції. Про історію Обсерваторії та її дослідження було написано багато матеріалів, здебільшого в польських виданнях, проте також було здійснено й українознавче експедиційне дослідження її будівництва [8; 9; 17; 18; 32]. Утім недостатньою є інформація, в українській науці зокрема, про погодні умови, які фіксувалися на г. Піп Іван на початку існування Обсерваторії.

Історія досліджень клімату Чорногори та аналіз останніх публікацій. У Чорногорі перші кліматичні дослідження проводилися за ініціативою Татранського Товариства ще в 1870-х роках. Були вони нерегулярними [31]. Регулярні метеорологічні спостереження почалися в 1899 р. на Ботанічній і Сільськогосподарській станції, що на полонині Пожижевська. Вимірювання проводилися три рази на день і включали: середню, мінімальну і максимальну температуру повітря, тиск водяної пари, відносну вологість повітря, випаровування, атмосферні опади, атмосферний тиск, температуру ґрунту, напрямок і швидкість вітру, хмарність і напрямок руху хмар, актинометричні та геліометричні спостереження [3]. Проте спостереження обмежувалися до періоду вегетації, тобто з початку червня до кінця вересня. Станція працювала до 1939 року, з перервами під час Першої світової війни. Опубліковані результати цих вимірювань можна знайти в щорічниках журналу "Космос" [28; 29; 30]. Інформація про радіацію та тривалість сонячного сяйва в Чорногорі була представлена в публікаціях доктора Едварда Стензома [24–27].

Новий імпульс до метеорологічних вимірювань в Чорногорі дало відкриття Обсерваторії на г. Піп Іван. Основним її завданням було проведення метеорологічних спостережень як частини мережі метеорологічних станцій Національного метеорологічного інституту (пол. Państwowe Instytutu Meteorologicznego), що у Варшаві, сьогодні Інститут метеорології і водного господарства (пол. Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej). Спостереження проводилися тричі на день для кліматологічних цілей. Їх доповнювали кожні три години (8 разів на день) спостереженнями для синоптичних цілей (записи зникли). Забезпечення обсерваторії метеорологічними інструментами того часу було дуже сучасним. Станція входила до мережі станцій першого порядку Національного Метеорологічного Інституту. Серед інших налічувалося понад 20 самозаписуючих інструментів і близько 30 простих приладів, таких як термометри, барометри, гігрометри та ін. Запланована наукова програма досліджень у сфері метеорології, кліматології чи геофізики включала: повітряні потоки, висотні інверсії (як температура, так і опади), випромінювання тепла чи іонізація атмосфери [7]. Робота Обсерваторії була перервана початком Другої світової війни.

У 30-х роках старші генерали охоче займалися проблемами невійськового характеру (Гуцульщиною чи то перспективними польськими колоніями в Африці або Бразилії). Тож ідея побудови обсерваторії виникла в 1935 році серед членів Товариства Приятелів Гуцульщини (пол. Towarzystwa Przyjaciół Huculszczyzny). У цей самий час варшавським астрономам була необхідна нова Обсерваторія у місцевості з достатньо чистим повітрям і відносно малою хмарністю. Сприятливою обставиною була та, що тогочасний головуючий Ліги Протиповітряної й Газової Оборони (пол. Liga Obrony Powietrznej i Przeciwwgazowej) 60-річний генерал Бербецький підтримував астрономічні дослідження. Із бюджету цієї інституції, однієї з найбільших і дуже впливових організацій у довоєнній Польщі, було профінансовано

будівництво Обсерваторії. "Приятелі Гуцульщини" зуміли переконати Лігу Протиповітряної і Протигазової Оборони виділити на цілі будівництва у важкі й бідні передвоєнні роки мільйон злотих. Ці кошти були виплачені із соціальних фондів, більшість з яких були віддані в оплату виробленого закордоном обладнання. Це з часом стало причиною появи неформальної назви об'єкта Білий Слон (тобто такого, що дістався дорогою ціною). Було вирішено, що основним завданням Обсерваторії буде проведення метеорологічних спостережень. Управління всією обсерваторією було доручено Національному метеорологічному інституту, де прикладне значення експлуатації високогірного об'єкта було цілком виправданим, зважаючи на високу вартість утримання [10; 13]. Оскільки Обсерваторія знаходилася на кордоні держав, то її перш будували і з військовою ціллю також як демонстрацію сили. Вартим уваги є факт, що кафедра астрономії Варшавського університету символічно брала участь в утриманні Обсерваторії, періодично делегуючи на об'єкт одного із своїх асистентів [11; 12]. Він кожної погодної ночі робив знімки і проводив дослідження над фізикою зірок. Численні фотографії виконувались астрографом англійської компанії "Grubb and Parson".

У 1958 році на полонині Пожижевська відновив свою роботу Високогірний біологічний стаціонар (1429 м н.р.м.) Інституту екології Карпат Національної академії наук України. А вже через рік на тій же полонині була запущена метеорологічна станція (1451 м н.р.м.), де метеорологічні записи проводяться 8 разів на день до сьогодні.

Нині метеорологічні вимірювання також проводяться у Чорногірському географічному стаціонарі Львівського університету. Стаціонар заснований професором Гаврилом Міллером в 1978 році на висоті приблизно 980 м н.р.м. Він розташований у верхній частині долини річки Прут на північний схід від гори Говерла (2061 м н.р.м.). На основі проведених спостережень Петлін і Матвіїв визначили для Чорногори вертикальний температурний градієнт і вертикальні термічні зони. Вертикальний градієнт на кожні 100 м узимку становить близько $-0,3$ °C, улітку $-0,6$ °C, середньорічний ... $-0,47$ °C [16]. Було виділено чотири вертикальні термічні зони: помірна, прохолодна, помірно-холодна і холодна. Помірна термічна зона простягається між 450–850 м н.р.м. із сумою активних температур вище $+10$ °C, що дорівнює 1750 градусів. Прохолодна зона займає висоти 850–1250 м н.р.м. із сумою активних температур близько 1000–1750 градусів. На висотах 1250–1500 м н.р.м. розташована помірно-холодна зона із загальною кількістю активних температур близько 600–1000 градусів. Вище 1500 м н.р.м. до найвищих вершин, включаючи г. Піп Іван (2028 м н.р.м.) і Говерлу (2061 м н.р.м.), простягається холодна термічна зона із загальною кількістю активних температур до 600 градусів [16].

У Чорногорі також проводилися сучасні короткотермінові дослідження, і для деяких частин масиву були ідентифіковані топоклімати [6; 15; 19]. Попри відносно тривалій період реєстрації даних на метеорологічній станції на Пожижевській, немає досліджень, що базуються на багаторічних спостереженнях, наприклад змін клімату Чорногори. Перший аналіз базових параметрів клімату Чорногори та його довготривалих змін лише нещодавно було представлено Скриником і Блажейчиком. Автори порівняли клімат Чорногори та його зміни щодо інших гірських масивів Центральної Європи [20]. Загальний огляд клімату Карпат, у тому числі й Чорногори, можна знайти в дослідженнях проекту CARPATCLIM [2; 22; 23]. Проект передбачає просторовий розподіл (роздільна здатність $0,1^\circ$ в десятковій сис-

темі) різних елементів клімату з різними часовими кроками (добові, місячні, річні та багаторічні). Кліматичні дані охоплюють період 1961–2010 рр.

Мета опрацювання. Вважаємо чудовою нагодою представити в окремому аналізі перші результати метеорологічних спостережень з ВМАО перед початком Другої світової війни, оцінити доцільність їхнього проведення саме в цьому місці. Також окреслити загальний спектр запланованих досліджень, проте більше звернути увагу на метеорологічні дослідження, що будуть проводитись у межах уже відновленого Міжнародного наукового центру "Обсерваторія".

Матеріали і методи. Копії Результатів метеорологічних спостережень з Обсерваторії на г. Піп Іван були знайдені в приватних колекціях. Для цілей подальшої обробки та аналізу вони були оцифровані. Аналіз здійснювався у програмі SPSS 25. ВМАО розташовувалася на вершині г. Піп Іван у Чорногорі на висоті 2022 м н.р.м. (відповідно до прийнятої в Україні системи відліку, сьогодні висота гори становить 2028 м н.р.м.). Її географічні координати: $\varphi = 48^{\circ}02'46''$ і $\lambda = -24^{\circ}37'42''$. Головний хребет масиву Чорногора йде в напрямку північний захід – південний схід. Це найвищий гірський хребет у цьому регіоні, де шість піків перевищують висоту 2000 м над рівнем моря. Гора Піп Іван є найпівденнішим із них.

Обсерваторія мала повний набір приладів метеорологічної станції першого порядку (у Польщі виділяють п'ять порядків). У кімнаті метеорологів, яка розміщувалася на найвищому поверсі обсерваторії, був ртутний барометр фірми Герлах. У метеорологічному майданчику, розташованому на нижній терасі на східному боці будівлі Обсерваторії, була клітка з термометрами: сухий і зволожений фірми Фуесс, максимальний ("термоарометр") і мінімальний також фірми Фуесс. Із аркушів спостережень довідуємося, що у ВМАО використовувались для спостереження: плівкограф Йозефовича, кататермометр Фуесса, геліограф Негретті-Замбра, 2 гідрографи Фуесса і 2 термографи Річарда. Надсучасний гідростатичний анемограф фірми Фуесс був установлений на спеціальній башті на даху будівлі (над кімнатою обсерваторів), на основі якого визначали середню швидкість і напрямок вітру. Анемограф був облаштований системою обігріву проти зледеніння.

Результати збереглися за 10 повних місяців (жовтень 1938 – липень 1939). Записи проводились о 6:22, 12:22 і 20:22 локального часу. У дослідженні використовуються середні добові й місячні значення атмосферного тиску (PA), температура повітря (середня – TM, мінімальна – TN і максимальна – TX), швидкість вітру (WS), хмарність (CC), сума опадів (RR) і товщина покриття снігу (SD). Виходячи із зареєстрованих показників сухого та вологого термометра, були розраховані своєчасні та середні значення тиску водяної пари (VP), відносної вологості (RH), температури точки роси (DWPT) та дефіциту вологості (VPD).

Виклад основного матеріалу. У Високогірній Метеорологічно-астрономічній обсерваторії (ВМАО) протягом усього аналізованого періоду атмосферний тиск характеризувався частими і великими змінами. У зимові місяці середньомісячні значення тиску були нижчими, ніж у літні місяці. Найнижчий тиск був зафіксований 23 березня 1939 р. (769 гПа), а найвищий – 23 листопада 1938 р. (808 гПа).

Крім того, інші метеорологічні елементи, включаючи температуру повітря, також характеризувалися великою змінністю. Найбільш холодним місяцем на г. Піп Іван був лютий і березень із середньомісячними показниками TM відповідно $-8,1^{\circ}\text{C}$ і -10°C . Крім того, у червні та липні в Чорногорі було набагато тепліше ($7,1^{\circ}\text{C}$ та $9,3^{\circ}\text{C}$ відповідно). Найнижче значення TN в ВМАО було задокументовано 17 грудня 1938 року ($-23,7^{\circ}\text{C}$), а найвище – TX 23 липня 1939 р. ($20,4^{\circ}\text{C}$) (табл. 1).

Найбільша кількість суворих холодних днів ($TN < -10^{\circ}\text{C}$) спостерігалася в лютому, березні та квітні (10, 24 і 14 відповідно), у грудні та січні їх було дещо менше (11 і 10 відповідно). У решти місяців ці дні не виступали взагалі, за винятком листопада, де був усього лише один такий день.

Морозні дні ($TX < 0^{\circ}\text{C}$) на вершині гори були 132 рази. Протягом майже всього місяця вони були зафіксовані від грудня по березень. Майже непомітними вони були в жовтні, листопаді, квітні та червні (6, 8, 9 та 1 день відповідно).

Дні з приморозками ($TN < 0^{\circ}\text{C}$) спостерігалася в кожному місяці всього досліджуваного періоду. Усього за 10 місяців спостережень на станції Піп Іван було 200 днів з приморозками ($TN < 0^{\circ}\text{C}$). Вони спостерігались протягом усього, або майже всього місяця від листопада по квітень. Було їх набагато менше в жовтні, травні, червні й липні (16, 10, 4 і 2 дні відповідно).

Область Піп Івану характеризувалася високою відносною вологістю повітря. Найвища RH спостерігалася у жовтні 1938 року (92 %), а найнижча – у липні 1939 року (80 %). Найвищі показники тиску водяної пари (VP) було обраховано для літніх місяців, а найнижчі – для зимових. Для прикладу найвищий показник тиску водяної пари (VP_{max}) було зафіксовано у липні (12,7 мм), а найнижчий (VP_{min}) – у березні (0,7 мм). Порівнюючи лише максимальні показники дефіциту тиску водяної пари (VPD_{max}) кожного місяця, його пік був зафіксований у липні (5,1 гПа), а найменшим він був у лютому (1,6 гПа). Крім того, для кожної доби було обчислено параметр температури точки роси (DWPT). Подібно як тиск водяної пари його найвищі показники реєструвалися у літні місяці, а найнижчі – у зимові.

За період аналізу на вершині г. Піп Іван відзначено загальну кількість опадів – 927,9 мм, причому найбільші суми опадів відзначалися в липні (233,7 мм). У тому ж місяці, 27 липня 1939 р., випала найбільша сума опадів за день (70 мм).

Протягом 10-місячного періоду дослідження у ВМАО було відзначено 159 днів з опадами ($RR \geq 0,1 \text{ mm}$), більшість з яких були у вересні, березні, травні та червні, відповідно 24, 24, 21 та 20 днів у місяці. Менше днів з опадами було в листопаді, грудні, січні, лютому, квітні й липні (13, 14, 14, 13, 1 і 15 днів відповідно). Також для кожного місяця було обчислено кількість днів з опадами $RR \geq 1,0 \text{ mm}$ і $RR \geq 10,0 \text{ mm}$, сума днів яких для всього досліджуваного періоду становить відповідно 133 і 46.

Загалом на станції Піп Іван за 10 місяців спостережень було зафіксовано 161 день зі сніжним покривом. Уперше сніг випав 9 жовтня 1938 року. У жовтні він вкривав землю протягом 11 днів, а в листопаді майже протягом усього місяця – 23 дні. Постійний сніжний покрив на вершині Піп Іван спостерігався з 5 грудня 1938 р. до 9 квітня 1939 р. Після цього спостерігався лише один день у травні. Максимальна висота снігу (SD) становила 70 см і була зафіксована 18 березня 1939 року.

Таблиця 1. Характеристики клімату на г. Піп Іван, жовтень 1938 – липень 1939
(Characteristics of climate at Pip Ivan Mt., October 1938 – July 1939)

Parameter	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	10 months
TM Avg, °C	1,2	-1,2	-7,7	-6,2	-8,1	10	-0,2	3,7	7,1	9,3	0,8
TN Abs, °C	-8,9	-11	-23,7	-16,9	-19,2	-17,7	-11,6	-1,6	-5,7	-3,4	-23,7
day	22	7	17	9	1	14	12	7	3	26	17.12.1938
TX Abs, °C	9,6	7,6	3,3	3	11	2,4	10,1	14,3	16,8	20,4	20,4
day	1	15	2	20	9	28	8	19	30	23	23.07.1939
TN<-10°C, days	-	1	11	10	14	24	14	-	-	-	74
TX<0°C, days	6	8	27	26	25	30	9	-	1	-	132
TN<0°C, days	16	27	31	31	28	31	20	10	4	2	200
RR totals, mm	124,2	66,4	25,9	69,1	86,2	69,6	5	142	105,8	233,7	927,9
RR Max, mm	19	24,7	4	13	13,3	14,6	5	23	17,5	70	70
Day	19	5	6	14	19	29	15	22	1	27	27.07.1939
RR>=0,1mm, days	24	13	14	14	13	24	1	21	20	15	159
RR>=1,0mm, days	18	10	10	13	13	14	1	17	14	23	133
RR>=10,0mm, days	4	1	-	1	3	1	-	4	4	8	26
SDdays	11	23	27	31	28	31	9	1	-	-	161
CC<2, days	1	5	1	1	3	2	1	-	3	1	18
CC>8, days	20	13	19	22	14	21	12	27	12	9	169
Fog days	27	18	21	25	18	27	16	22	20	11	205
Storm days	-	-	-	-	-	-	-	5	8	8	21
RH Avg, %	92	84,9	87	90,1	80,5	84,5	81,7	90,7	87,9	80	85,93
VP Max, mm	9	6,7	5,9	5,7	4,5	5,8	6,9	10,8	12,2	12,7	12,7
VP Min, mm	3,5	2,4	0,8	2,1	1,3	0,7	2,9	5,7	5,3	5,8	0,7
DWPT Max, °C	5,1	0,4	-1,4	-1,8	-4,5	-1,7	0,8	8,1	10	10,6	10,6
DWPT Min, °C	-7,3	-17,8	-24,2	-13,3	-19,5	-26,4	-10	-1,8	-2,7	-1,6	-24,2
VPD Max, hPa	2,3	2,7	2,3	2	1,6	2	4	2,4	2,2	5,1	5,1

Протягом аналізованого періоду середня швидкість вітру у ВМАО в Чорногорі була $9,7 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$. Найвищий середній показник WS був обчислений для вересня і січня ($11,6 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ і $11,3 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ відповідно), найменший – для грудня і липня ($8,2 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ і $7,0 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ відповідно). Було обчислено кількість днів із сильним вітром ($WS \geq 10 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$) для кожного місяця. За 10 місяців дослідження було 207 таких днів, що є суттєвим. Значна різниця в річному режимі цих днів не спостерігається. Місяць з дуже сильними вітрами ($WS > 15 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$) був січень (26 днів). Пориви вітру від $15 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ до $43 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ спостерігалися майже весь місяць.

У період з жовтня 1938 р. по липень 1939 р. середня хмарність в Чорногорі становила 7,7 (за шкалою 0–10). Найвища середня хмарність спостерігалася у січні й травні (відповідно 8,5 та 9,2), а найменша – у липні та жовтні (відповідно 6,0 та 6,4). Усього на станції Піп Іван спостерігалася лише 19 днів із середньою хмарністю нижче 2 (за шкалою 0–10), що є близько 6 % від загальної кількості днів (304 дні).

Загалом у ВМАО було зафіксовано 205 днів із туманом. Причому найбільше цих днів було занотовано у вересні, січні та березні (27, 25 та 27). Дні із штормовими попередженнями на Піп Івані трапилися лише у травні, червні й липні (відповідно, 5, 8, і 8; усього 21 день).

Висновки. Зважаючи на дуже короткий період спостережень, їхні результати не є достатньо репрезентативними для характеристики клімату на г. Піп Івані. Важко сказати, чи спостережені подібності та відмінності є випадковими, чи мають постійний характер.

Загальновідомо, що у вересні 1939 року Західну Україну, у тому числі Обсерваторію, зайняли радянські війська. З доступної нам інформації точно знаємо, що з половини 1940 до червня 1941 р. тут функціонувала метеорологічна станція із широким колом досліджень. Не знаємо, чи залишилися якісь оригінальні записи із цього періоду. Імовірно так згадується про це при описі вітру в розділі "Клімат" монографії "Природа Українських Карпат": "Е. С. Розова відзначає, що в гірському масиві Чорногори на висоті 2023 м за січень – травень 1941 р. вітри зі швидкістю $40 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$, спостерігались у

30 випадках" [4]. Ми не знайшли жодних оригінальних записів спостережень цього періоду в українських архівах. Імовірно, після розпаду СРСР дані залишилися в архівах Російської Федерації.

В Обсерваторії, як це характерно для цих висот, спостерігалася значна динаміка змін параметрів погоди з доби на добу. Середньомісячні значення РА були нижчими для зимових місяців, ніж у літні місяці. Середня температура на г. Піп Іван за 10 місяців становить $0,8 \text{ }^\circ\text{C}$. Варто зазначити, що загальна кількість опадів за період дослідження в Чорногорі була 942,5 мм. Постійний сніговий покрив на г. Піп Іван лежав від 5 грудня до 9 квітня. Середня швидкість вітру (за 10 місяців) на г. Піп Іван – $9,7 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$. Середня хмарність у жовтні 1938 – липні 1939 р. на Піп Івані становила 7,6.

Було зафіксовано всього лише 19 днів із середньою хмарністю нижче 2. Проте, якщо підрахувати кількість днів із хмарністю нижче 2 лише з години 20:22, то їхня кількість становить 50. Цей показник є вищим, проте все одно не є достатнім як для астрономічної обсерваторії високого класу (у часи, коли вона була відкрита вперше, астрономічну її частину можна було б віднести до обсерваторій середнього класу). Також слід зауважити, що погода о 20:22 не може відображати стан неба і погоду, що буде протягом цілої ночі. Хоч це вже може свідчити, що погодні умови на горі Піп Іван не є підходящими для астрономічних спостережень (високий рівень хмарності). Якби погодні умови були більш сприятливими, то можна було б заінсталювати інфрачервоний датчик температури неба і за допомогою шкали Бортля підтвердити або спростувати доцільність інсталяції тут хорошого астрономічного обладнання. Єдине, що ми нині можемо зробити – це отримати частини оригінального телескопа з Астрономічної обсерваторії в Хожові, якій там зберігається донині, хоча б для історичної експозиції.

Результати перших метеорологічних спостережень на Піп Івані, представлені в цьому дослідженні, показують, що варто здійснити зусилля, щоб відновити роботу Обсерваторії. Сьогодні в Обсерваторії вже діє українсько-польський гірський пошуково-рятувальний пост.

У Міжнародному науковому центрі "Обсерваторія" плануються такі підрозділи: метеорологічні й астрономічні спостереження, комплексні науково-дослідні лабораторії науковців із широким спектром досліджень наук про Землю і середовище, місце практик для студентів і прихисток для туристів.

У рамках метеорологічної станції плануються широкомасштабні дослідження з використанням автоматичної техніки вимірювання таких параметрів: атмосферний тиск (PA), температура повітря (середня – TM, мінімальна – TN і максимальна – TX), хмарність (CC), опади (RR), товщина снігового покриву (SD), швидкість і напрямок вітру (WS і WDu). Базуючись на показниках сухого та вологого термометра і сенсора вологості, будуть розраховані своєчасні та середні значення тиску водяної пари (VP), відносної вологості (RH), температури точки роси (DWPT), дефіцит вологості (VPD), а також евапотранспірація (ET). В Обсерваторії ще готуються до встановлення прилади сонячного випромінювання з великим спектром досліджуваних параметрів – від тривалості сонячного сйва (SUD) чи альbedo (AL) до вимірів ультрафіолету А (UV-A) і Б (UV-B). До метеорологічної станції входиме теж система моніторингу якості повітря, що замірятиме хімічні гази в атмосфері (e.g. O₃, SO₂, N, CO і CO₂).

Ще в минулому році було підписано Меморандум про створення на базі Обсерваторії Карпатського екологічного центру. Під документом, крім керівництва Прикарпатського університету, також підписались представники Міністерства освіти та науки України, Міністерства екології та природних ресурсів України і Карпатського національного природного парку. За підтримки таких потужних інституцій спектр моніторингу якості повітря можливо буде розширено.

Пункт для метеорологічних спостережень в МНЦ "Обсерваторія" є унікальним. З точки зору науки ми матимемо постійний моніторинг елементів як атмосфери, так і природного середовища загалом на висоті більше 2000 м н.р.м. Метеорологічні дослідження в цьому місці є обґрунтованими і будуть основним завданням роботи Обсерваторії. Також пункт матиме і практичне застосування з дня на день, наприклад своєчасне попередження лавинної небезпеки чи пошуково-рятувальний пункт. Зважаючи на велику важливість цього гірського масиву в кліматичному відношенні, а також для розуміння фізико-географічних процесів в усьому регіоні, варто задіяти комплексне вивчення його середовища. Разом із спостереженнями, проведеними в інших районах Карпат, це дозволить нам повною мірою зрозуміти кліматичні особливості, а також природне середовище цілої системи Карпатських регіонів.

References:

1. Błażejczyk, K. 2019, 'Seasonal and multiannual variability of selected climate elements in the Tatry and Karkonosze Mts. in the years 1951–2015', *Przegląd Geograficzny*, v. 91, no. 1.
2. Cheval, S., Birsan, M. V. & Dumitrescu, A. 2014, 'Climate variability in the Carpathian Mountains Region over 1961–2010', *Global and Planetary Change*, vol. 118, P. 85–96.
3. Dworak, T. Z. & Rymanowicz, L. 1992, 'Meteorological Observations of the Botanical and Agricultural Station at the połonina Pożyżewska', *Review of Geophysics*, v. 37, no. 1–2, P. 87–91.
4. Gutowski, J. & Śledziński, J. 2002, 'Plany odbudowy stacji badawczej na górze Pop Iwan w Czarnohorze', *Przegląd Geologiczny*, v. 50, no. 3.
5. Herenchuk, K. (ed.) 1968, 'Природа Українських Карпат [The Nature of the Ukrainian Carpathians]', Ivan Franko National University of Lviv Press, Lviv, Ukraine.

6. Kotarba, A. 2006, 'The thermal variations in the topoclimate of eastern part of Chornohora range (The Ukrainian Carpathian Mountains) during the summer season. Case study of the upper Prut valley', in Czarnohora. *Przyroda i człowiek*, eds M Troll, IGIOP UJ Press, Cracow, P. 47–62.
7. Kreiner, J. M. & Rymanowicz, L. 1992, 'The Marshal Józef Piłsudski Meteorological and Astronomical Observatory on the Pop Ivan Mountain (2022 m)', *Review of Geophysics*, vol. 37, no. 1–2, P. 77–85.
8. Kreiner, J. M. 1989, 'Dzieje Obserwatorium Meteorologiczno-Astronomicznego na Pop Iwanie', *Urania*, v. 4.
9. Kreiner, J. M. 1992, 'Dzieje Obserwatorium Meteorologiczno-Astronomicznego na Pop Iwanie – post scriptum', *Urania*, v. 2.
10. Midowicz, W. 1939, 'Twierdza nauki imienia wielkiego marszałka', *Lot Polski*, v. 3.
11. Midowicz, W. 1962, 'O białym słoniu na Czarnohorze', *Horyzonty*, Paris.
12. Midowicz, W. 1988, 'O Białym Sloniu na Czarnohorze', *Plaj*, v. 2, P. 112.
13. Midowicz, W. 2012, 'Twierdza Nauki imienia Wielkiego Marszałka', *Plaj*, v. 45, P. 8–14 (reprint)
14. Migala, K. 2005, 'Piętra klimatyczne w górach Europy a problem zmian globalnych', *Acta Universitatis Wratislaviensis 2718. Studia Geograficzne 78*, University of Wrocław Press, P. 140.
15. Mukha, B. 2017, 'Топоклімати Чорногори: монографія [Topoclimates of Chornohora: monograph]', Ivan Franko National University of Lviv Press, Lviv, Ukraine, P. 67.
16. Petlin, V. & Matviyiv, V. 2003, 'Клімат [Climate]', in Чорногірський Географічний Станіонар [Chornohora Geographical Station], Ivan Franko National University of Lviv Press, Lviv, Ukraine, P. 35–40.
17. Rymarowicz, L. & Kreiner, J. M. 2012, 'Działalność naukowo-badawcza na Pop Iwanie', in *Plaj*, eds P Luboński & A Wielocha, v. 45, Autumn, P. 43–55.
18. Rymarowicz, L. & Wielocha, A. 2012, 'Tajemnica Pop Iwana albo drugie życie Obserwatorium', in *Plaj*, eds P Luboński & A Wielocha, v. 45, Autumn, P. 15–36.
19. Shuber, P. 2013, 'The climate high landscapes Chornohora', *Problems of mountains landscape studies*, no. 1, P. 120–125.
20. Skrynyk, O. & Błażejczyk, K. 2019, 'Principal features of Chornohora climate and its long term changes (on the background of other Central European mountain ridges)', *Miscellanea Geographica – Regional Studies on Development*, (in print).
21. Skrynyk, O. & Rymarowicz, L. 2018, 'Meteorological observations at Pip Ivan (Chornohora) and Kasprowy Wierch (Tatras) before the Second World War', *Review of Geophysics*, v. 71, no. 4, P. 363–373.
22. Spinoni, J., Lakatos, M., Szentimrey, T., Bihari, Z., Szalai, S., Vogt, J. & Antofie, T. 2015, 'Heat and cold waves trends in the Carpathian Region from 1961 to 2010', *International Journal of Climatology*, vol. 35, no. 14, P. 4197–4209.
23. Spinoni, J., Szalai, S., Szentimrey, T., Lakatos, M., Bihari, Z., Nagy, A., Németh, Á., Kovács, T., Mihic, D., Dacic, M., Petrovic, P., Kržič, A., Hiebl, J., Auer, I., Milkovic, J., Štěpánek, P., Zahradníček, P., Kilar, P., Limanowka, D., Pyrc, R., Cheval, S., Birsan, M. V., Dumitrescu, A., Deak, G., Matei, M., Antolovic, I., Nejedlík, P., Štastný, P., Kajaba, P., Bochníček, O., Galo, D., Mikulová, K., Nabyvanets, Y., Skrynyk, O., Krakovska, S., Gnatiuk, N., Tolasz, R., Antofie, T. & Vogt, J. 2014, 'Climate of the Carpathian Region in the period 1961–2010: climatologies and trends of 10 variables', *International Journal of Climatology*, v. 35, no. 7. – P. 1322–1341.
24. Stenz, E. & Łysakowski, W. 1932, 'Pomiary promieniowania słonecznego w Czarnohorze w lecie 1931', *Wiadomości Meteorologiczne i Hydrologiczne*. 3–4.
25. Stenz, E. 1925, 'Dawne spostrzeżenia pyrhielometryczne w Czarnohorze', *Kosmos*, v. 50, P. 480.
26. Stenz, E. 1926, 'O usłonecznieniu Czarnohory', *Kosmos*, vol. 51, P. 679–699.
27. Stenz, E. 1929, 'Zachmurzenie i usłonecznienie Karpat Wschodnich', *Kosmos*, v. 54, P. 439–469.
28. Szulc, K. 1911, 'Spostrzeżenia meteorologiczne na Połoninie Pożyżewskiej w pasmie Czarnohorskiem w Karpatach Wschodnich', *Kosmos*, v. 36.
29. Szulc, K. 1912, 'Spostrzeżenia meteorologiczne na Połoninie Pożyżewskiej w pasmie Czarnohorskiem w Karpatach wschodnich w roku 1911', *Kosmos*, v. 37, P. 483–490.
30. Szulc, K. 1914, 'Spostrzeżenia meteorologiczne na Połoninie Pożyżewskiej w pasmie Czarnohorskiem w Karpatach wschodnich w roku 1912', *Kosmos*, v. 39.
31. Wierzbicki 1897, 'Wyniki spostrzeżeń meteorologicznych dokonanych staniem Towarzystwa Tatrzańskiego w roku 1878/1879', in *Pamiętnik Towarzystwa Tatrzańskiego*, v. 4.
32. Zelenchuk, Y. 2010, 'Будівництво астрономо-метеорологічної обсерваторії на горі Піп Іван Чорногірський [Construction of the Astronomical and Meteorological Observatory at Pip Ivan Mt., Chornohora]', *Українознавство*, v. 3, P. 247–357.

О. Скриник, докторант
Варшавский Университет, Варшава, Польша

ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ В ОБСЕРВАТОРИИ НА ГОРЕ ПОП ИВАН

Черногора является самым высоким горным хребтом в Украинских Карпатах. Здесь находится шесть вершин с высотой более 2000 м над уровнем моря. Массив является климатическим барьером для масс воздуха по линии северо-запад – юго-восток. Его изучение имеет большое значение для понимания физико-географических процессов целого региона. В дополнение массив Черногоры мало исследован по сравнению с другими горными массивами Карпат.

29 июля 1938 года здесь на горе Поп-Иван была открыта высокогорная метеорологическая и астрономическая обсерватория (ВМАО). Обслуживал ее Национальный институт метеорологии (Польша). Копии результатов метеорологических наблюдений (pol. Wyniki Spostrzeżeń Meteorologicznych) из ВМАО на Поп-Иване были успешно сохранены в частных коллекциях (октябрь 1938 – июль 1939). Как характерно для этих высот, отмечалась значительная динамика изменения параметров погоды из дня в день. Средние месячные значения атмосферного давления были ниже для зимних месяцев, чем в летние месяцы. Средняя температура на Поп-Иване за 10 месяцев составила 0,8 °С. Следует отметить, что общее количество осадков за исследуемый период на станции составило 942,5 мм. Постоянный снежный покров на Поп-Иване был с 5 декабря по 9 апреля. Средняя скорость ветра за 10 месяцев составила 9,7 м·с⁻¹.

До Второй мировой войны здесь также был филиал Астрономической обсерватории Варшавского университета. Место примечательно с точки зрения расстояния от источников света. Однако средняя облачность в периоде октябрь 1938 г. – июль 1939 г. на Поп-Иване составила 7,6 (по шкале 0–10). В течение 10 месяцев средняя облачность менее 20 % составила всего 18 дней. Это очень мало для астрономических обсерваторий.

Из имеющихся источников мы знаем, что во время советской оккупации (с половины 1940 года по июнь 1941 года) в ВМАО работала метеостанция с широким спектром исследований. Мы не нашли никаких оригинальных записей наблюдений этого периода в украинских архивах. Вероятно, после распада СССР, данные остались в архивах Российской Федерации. После Второй мировой войны обсерватория была заброшена и подвергнута разрушению природной средой.

В настоящее время Прикарпатский национальный университет имени Василия Стефанюка и Варшавский университет вместе активно восстанавливают здания. Учреждение называется Международный научный центр "Обсерватория" (МНЦ "Обсерватория"). Там круглосуточно работает украинско-польская горная поисково-спасательная служба. Также запланированы подразделения: метеорологические и астрономические наблюдения, комплексные исследовательские лаборатории с широким спектром исследований наук о Земле и окружающей среде, места практики для студентов и приют для туристов. Недавно (22 февраля 2019 г.) Прикарпатский университет подписал грантовое соглашение: "Адаптация бывшей обсерватории на горе Поп-Иван для нужд учебного центра горнолыжной службы спасения", в которую входит установка современной автоматической метеорологической станции, в рамках которой планируется проведение масштабных исследований для измерения следующих параметров: атмосферное давление (РА), температура воздуха (средняя – ТМ, минимальная – ТН и максимальная – ТХ), облачность (СС), осадки (RR), глубина снега (SD), скорость (WS) и направление ветра (WDU). На основании зарегистрированных показателей сухого и увлажненного термометра и датчика влажности было рассчитано строквые и средние значения давления водяного пара (VP), относительной влажности (RH), температуры точки росы (DWPT), дефицита давления пара (VPD), а также будет рассчитано евотранспирация (ET). В обсерватории также готовятся к установке приборы солнечное излучения с большим диапазоном исследуемых параметров – от длительности солнечного света (SUD) или альбедо (AL) до измерений ультрафиолета А (UV-A) и В (UV-B). Метеостанция также будет включать систему мониторинга качества воздуха, которая будет измерять химические газы в атмосфере (напр., O₃, SO₂, Nx, CO и CO₂). При поддержке других учреждений спектр мониторинга качества воздуха будет расширен.

Место проведения метеорологических наблюдений в МСК "Обсерватория" уникальное. С точки зрения науки мы будем осуществлять постоянный мониторинг элементов атмосферы и природной среды в целом на высоте более 2000 м над уровнем моря. Метеорологические исследования на этой станции обоснованы и будут основной задачей обсерватории. Объект ежедневно будет использоваться с целью предупреждения лавинной опасности или в форме поисково-спасательного пункта. Учитывая большое значение этого горного хребта с точки зрения климата, а также для понимания физико-географических процессов во всем регионе, стоит использовать комплексные исследования его окружающей среды. Наряду с наблюдениями, сделанными в других частях Карпат, это позволит нам лучше понять климатические особенности, а также всю окружающую среду целой системы Карпатских регионов.

Ключевые слова: Черногора, Поп Иван, Обсерватория, климат, метеорология.

O. Skrynyk, PhD candidate
University of Warsaw, Warsaw, Poland

FIRST RESULTS AND PERSPECTIVES OF THE METEOROLOGICAL RESEARCH AT THE OBSERVATORY AT PIP IVAN MT

Chornohora is the highest mountain ridge in the Ukrainian Carpathians. There are six peaks with an altitude 2000 m. a.s.l. The range is a climatic barrier for air masses along the northwest – southeast. This study is important for understanding of the physical and geographical processes in the whole region. In addition, Chornohora not sufficiently researched compared to other mountain ranges of the Carpathians.

The High-Mountain Meteorological and Astronomical Observatory (HMAO) at Pip Ivan Mt. was opened on July 29, 1938. The National Institute of Meteorology (Poland) served it. Copies of the data sheets Meteorological Observations Results (pol. Wyniki Spostrzeżeń Meteorologicznych) from the HMAO at Pip Ivan Mt. were successfully preserved in the private collections (October 1938 – July 1939). As is characteristic of these altitudes, there was a significant dynamics of changes in weather parameters from day to day. The average monthly atmospheric pressure values were lower for the winter months than for the summer months. The average temperature at Pip Ivan for 10 months was 0.8°C. It should be noted that the total rainfall during the study period at the station was 942.5 mm. Permanent snow cover on Pip Ivan Mt. laid from December 5 to April 9. The average wind speed for 10 months was 9.7 m·s⁻¹.

Before the Second World War, there was also a branch of the Astronomical Observatory of the University of Warsaw. The place is remarkable in terms of distance from light sources. However, the average cloudiness in October 1938 – July 1939 at Pip Ivan was 7.6 (on a scale of 0–10). Within 10 months, the average cloudiness less than 20% were only 18 days. This is not enough for the astronomical observatories.

From the available sources, we know that during the Soviet occupation (half of 1940 to June 1941) the weather station with a wide range of research was operated at the HMAO. We did not find any original records of observations of this period in Ukrainian archives. Probably after the collapse of the USSR, data stayed at the Archives of Russia's Federation. After the Second World War, the Observatory was abandoned and subjected to destruction of the natural environment.

Nowadays the Vasyi Stefanyk Precarpathian National University and the University of Warsaw are actively restoring the building of the Observatory. The modern name of the institution is the International Scientific Center "Observatory" (ISC "Observatory"). There already works 24/7 Ukrainian-Polish mountain search and rescue service. Also the following subdivisions are planned: meteorological and astronomical observations, integrated research laboratories with a wide spectrum of research on the Earth and environment, the place of practice for students and shelter for tourists. Recently (February 22, 2019) Precarpathian University signed a grant agreement: "Adaptation of former observatory on the Pip Ivan mountain for the needs of alpine rescue service training center" which includes the installation of a modern Automatic Weather Station. Within the framework of which large-scale studies are planned to measure the following parameters: atmospheric pressure (PA), air temperature (mean – TM, minimum – TN and maximum – TX), cloud cover (CC), precipitation (RR), snow depth (SD), wind speed (WS) and direction (WDU). Based on the recorded indicators of the dry and moistened thermometer and the humidity sensor, timely and average values of water vapour pressure (VP), relative humidity (RH), dew point temperature (DWPT), vapour-pressure deficit (VPD) and as well as evapotranspiration (ET) will be calculated. Also in the Observatory solar radiation instruments are preparing to install, with a large range of investigated parameters – from sunshine duration (SUD) or albedo (AL) to the measurements of ultraviolet A (UV-A) and B (UV-B). The weather station will also include the air quality monitoring system, which will measure the chemical gases in the atmosphere (e.g. O₃, SO₂, Nx, CO i CO₂). With the support of other institutions, the range of air quality monitoring will be expanded.

The location for meteorological observations in the ISC "Observatory" is unique. In terms of scientific research, we will have continuous monitoring of atmosphere elements and of the natural environment as a whole at an altitude of over 2000 m a.s.l. Meteorological research at this station is reasonable and will be the main task of the Observatory. Also, the results of the observations will have practical application from day to day, such as timely warning of avalanche danger or as a search and rescue service. Given the great importance of this mountain ridge in terms of climate, as well as to understand the physical and geographical processes in the whole region, it is worth to use comprehensive researches of its environment. Along with the observations made in other parts of the Carpathians, it will allow us to understand better the climatic features as well as the whole environment of the Carpathian regions.

Key words: Chornohora, Pip Ivan, Observatory, climate, meteorology.

<http://doi.org/10.17721/1728-2721.2019.74.15>
UDC 504.06

A. Sholokhova¹, MSc student,
O. Tsibernaja², MSc student,
V. Mykhaylenko¹, Ph.D. chemistry Assoc. Professor,
J. Burlakovs³, PhD,
V. Kuusemets², PhD Professor,
K.-M. Pehme², PhD student,
M. Kriipsalu², PhD Professor
¹ Taras Shevchenko National University of Kyiv, Ukraine,
² Estonian University of Life Sciences, Tartu, Estonia,
³ Linnaeus University, Växjö, Sweden

PILOT-SCALE METHANE DEGRADATION BIOCOVER AT OPERATING LANDFILL

A landfill is a large bioreactor, in the body of which landfill gases are generated due to anaerobic degradation of organic material. According to European legislation, the emission of methane, one of the landfill gases, should be kept to a minimum as methane is a greenhouse gas and has a significant impact on our climate. With large volumes, methane can be used for energy production, but if the collection is uneconomic, an attractive option would be to cover the landfill with a bioactive layer to degrade methane in-situ. In operational Uikala sanitary landfill, Estonia, where active gas collection system exists, it was found that uncaptured gas could be degraded in bioactive cover layer. To check whether such cover layer could be built from fine fraction after mechanical biological treatment (MBT), two experimental cells were constructed (0–20 mm and 0–40 mm fractions). The paper presents the design of experimental cells, a description of materials for construction and construction process, and preliminary results. Measurement system was installed in both cells: gas wells at eight depths and on three locations on surface. Three-level lysimeters were installed to determine water balance. Research is planned for two years with monthly gas sampling. The objective of the work is proving which of the MBT fractions, 0–20 or 0–40 mm, function better for methane degradation. Confirmation of the methane degradation efficiency in fine MBT fraction is important not only from the ecological point of view. The use of a fine fraction as a material for methane degradation layer would reduce the cost of processing this fraction and become a good example to a circular economy since the landfill would be recultivated using its own resources.

Keywords: Landfill gas, MBT fine fraction, Emission, Methane degradation layer, Landfill cover, Lysimeter

Introduction. Human activity is contributing to increasing the concentration of greenhouse gases in the atmosphere. This results in significant warming of the earth's surface and other associated changes in climate. In addition to industrial and agricultural activities, large contributors of greenhouse gases are landfills. Degradation of organic waste in landfill releases methane a greenhouse gas that is 23 times more effective at trapping heat in the atmosphere than carbon dioxide. Methane discharge accounts as 14 % of the world GHG emissions [1]. As part of the suite of measures to improve the sustainability of waste management and climate system, the Landfill Directive (1999/31/EC) introduces requirements on member states to reduce the methane emissions. In order to comply with these requirements, landfill gas collected and used for energy production or flared. However, gas is produced at a stable rate typically for about 20 years [4] and then the amount of gas gradually decreases. Eventually collection of methane becomes economically unprofitable. An attractive option to destroy methane gas even then would be to cover the landfill with a bioactive layer to degrade methane in-situ. Biocover may be made of various organic-rich materials, including fine fraction from mechanical-biological-treatment (MBT). The properties of such materials, however, have to be confirmed by field trial.

Theoretical background. According to the R. Hanson and T. Hanson [3] scientific research methane can be oxidized by methanotrophic bacteria. M. Scheutz [10], G. Pedersen [7], Y. Philopoulous [9] consider that methanotrophic bacteria are ubiquitous soil bacteria, but long lag phases towards reaching high CH₄ oxidation rates are found especially in mineral materials. Therefore the

focus in recent years has been on methane degradation by using organic materials. Studies of organic biocovers are described in scientific papers of H. Hilger and M. Humer [4], M. Barlaz [1].

M. Humer and P. Lechner [5] based on the testing of 25 different materials propose several physical and chemical parameters for biocover materials, including organic content, moisture and pH value. According to various criteria, fine fraction from mechanical-biological-treatment (MBT) can be a good material for biocover. First biocover of its kind in Estonia was designed for Kudjape landfill [8] as a part of recultivated project, and was studied in detail.

Purpose. This study aims to prove that MBT fine fraction is fit-to-use as functional material for methane degradation layer. Another objective was to study how the methane degradation window works at operating landfill.

The main sub-objectives of the project are to:

- prove that CH₄ is present in cell
- prove that CH₄ is not escaping to atmosphere
- prove that gas is degraded in the cell
- prove that environmental conditions are favorable for microbial degradation
- measure composition of gases
- demonstrate dynamics in gas composition over time
- perform microbiological analysis

Monitoring of the cells is planned within two years at intervals of every month.

Materials and methods. Uikala landfill is located in Ida-Virumaa, Estonia, five kilometres to the north of the town Jõhvi and four kilometres to the south of the Gulf of Finland. The landfill that met the requirements of the EU Landfill Directive (1999/31/EC) commenced on January 1, 2002.