



ISSN 2411–6602 (Online)

ISSN 1607–2855 (Print)

Том 11 • № 2 • 2015 С. 114 – 121

УДК 528.855+835

Розроблення динамічного програмного засобу для взаємодії користувача з середовища геоінформаційної системи з базою даних контрольно-калібрувального полігону супутникових оптико-електронних сенсорів ДЗЗ

Я.І. Зєлик*, О.В. Семенів

Інститут космічних досліджень Національної академії наук України та Державного космічного агентства України

Проаналізовано стан проблеми післястартового калібрування супутникових оптико-електронних сенсорів ДЗЗ та шляхи її розв'язання в Україні. Удосконалено базу даних та створено динамічні сервіси для взаємодії з нею користувача з середовища відкритої геоінформаційної системи Quantum GIS для інформаційної підтримки контрольно-калібрувальної діяльності. Розроблено динамічний додаток до QGIS, який реалізує вказані сервіси у напрямку можливості введення, редагування та надання даних з БД, із застосуванням технологій об'єктно-орієнтованого програмування та сучасних шаблонів проектування складних програм. Розроблено функціонально-алгоритмічне забезпечення динамічного програмного засобу та його інтерфейс.

РАЗРАБОТКА ДИНАМИЧЕСКОГО ПРОГРАМНОГО СРЕДСТВА ДЛЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ИЗ СРЕДЫ ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ С БАЗОЙ ДАННЫХ КОНТРОЛЬНО-КАЛИБРОВОЧНОГО ПОЛИГОНА СПУТНИКОВЫХ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ СЕНСОРОВ ДЗЗ, Зельик Я.И., Семенов О.В. — Проанализированы состояние проблемы послестартовой калибровки спутниковых оптико-электронных сенсоров ДЗЗ и пути ее решения в Украине. Усовершенствована база данных и созданы динамические сервисы для взаимодействия с ней пользователя из среды открытой геоинформационной системы Quantum GIS для информационной поддержки контрольно-калибровочной деятельности. Разработано динамическое приложение к QGIS, реализующее указанные сервисы в направлении возможности ввода, редактирования и предоставления данных из БД, с применением технологий объектно-ориентированного программирования и современных шаблонов проектирования сложных программ. Разработано функционально-алгоритмическое обеспечение динамического программного средства и его интерфейс.

THE DEVELOPMENT OF A DYNAMIC SOFTWARE FOR THE USER INTERACTION FROM THE GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM ENVIRONMENT WITH THE DATABASE OF THE CALIBRATION SITE OF THE SATELLITE REMOTE ELECTRO-OPTIC SENSORS, by Zelyk Ya.I., Semenov O.V. — The state of the problem of the post-launch calibration of the satellite electro-optic remote sensors and its solutions in Ukraine is analyzed. The database is improved and dynamic services for user interaction with database from the environment of open geographical information system Quantum GIS for information support of calibration activities are created. A dynamic application under QGIS is developed, implementing these services in the direction of the possibility of data entering, editing and extraction from the database, using the technology of object-oriented programming and of modern complex program design patterns. The functional and algorithmic support of this dynamic software and its interface are developed.

Ключевые слова: послестартовая калибровка; спутниковый оптико-электронный сенсор; ДЗЗ; калибровочный полигон; база данных; геоинформационная база данных; PostgreSQL; Quantum GIS.

Key words: post launch calibration; satellite electro-optic sensor; remote sensing; calibration test site; database; geographical information system; PostgreSQL; Quantum GIS.

1. СТАН ПРОБЛЕМИ ПІСЛЯСТАРТОВОГО КАЛІБРУВАННЯ СУПУТНИКОВИХ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННИХ СЕНСОРІВ ДЗЗ ТА ШЛЯХИ ЇЇ РОЗВ'ЯЗАННЯ В УКРАЇНІ

На теперішній час у світі на сучасний ринок продукції космічного спостереження компаніями та операторами космічних систем (КС) надаються не просто високоякісні космічні знімки, а створені калібровані базові продукти (БП) обробки даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), що базуються на даних обробки вищих рівнів у порівнянні з сирими даними космічних знімків. БП ДЗЗ повинні створюватися на основі існуючих у світовій практиці систем класифікації даних ДЗЗ, званих інакше рівнями обробки даних, запропонованих NASA при створенні системи Earth Observing System Data and Information System (EOSDIS) [1], і розширених і обґрунтованих у каталозі робочої групи з інформаційних систем і сервісів (Working Group on Information Systems and Services — WIGIS) комітету із супутникових спостережень Землі (Committee on Earth Observation Satellites (CEOS) [2]. БП є наборами даних, вираженими в абсолютних фізичних одиницях, точно прив'язаними у часі і просторі

* Зєлик Ярема Ігорович; ✉ adapt09@gmail.com

до спостережуваних об'єктів. Вони отримані за допомогою регулярно каліброваних у польоті бортових супутникових оптико-електронних сенсорів ДЗЗ.

Калібрування (зокрема, радіометричне) найнижчого рівня полягає у переведенні у кожному спектральному діапазоні багатоспектральної знімальної системи цифрових значень пікселів супутникового зображення у значення абсолютної фізичної величини — спектральної енергетичної яскравості на апертурі бортового сенсора — БП рівня обробки 1B (NASA, EOSDIS). З використанням результатів атмосферної корекції у момент зйомки з цього інформаційного продукту можуть бути отримані БП вищих рівнів обробки: спектральна енергетична яскравість і спектральний коефіцієнт відбиття ділянки, що відповідає пікселю супутникового зображення біля земної поверхні, та ін. Саме наявність каліброваних БП ДЗЗ забезпечує достовірну тематичну інтерпретацію і порівнянність даних, які надходять від різномірних джерел: як від різних космічних систем, так і від різних наземних систем ДЗЗ [3–8].

До теперішнього часу в Україні післястартове калібрування бортових оптико-електронних сенсорів з використанням підсупутникових калібрувальних полігонів не здійснювалося. Зокрема, у КС «Січ-2» калібрування знімальної системи не було передбачено конструктивно, відповідний файл метаданих, який супроводжує кожен знімок, не містив посилань на коефіцієнти калібрування у відповідному файлі калібрувальних параметрів (ФКП) (причому ФКП у «Січ-2» взагалі не було передбачено взагалі). Тому на основі некаліброваних даних КС «Січ-2» не могли бути створені базові продукти даних, конкурентноздатні на міжнародному ринку інформаційних продуктів та послуг ДЗЗ.

Незважаючи на наявність світової мережі підсупутникових калібрувальних полігонів LANDNET Sites [9] комітету CEOS, досі не існує операційного сервісу надання за вимогою користувача в обраний ним момент часу актуальних значень спектрального коефіцієнта відбиття поверхні обраного ТО на калібрувальному полігоні CEOS та коефіцієнта пропускання атмосфери над ТО, які були б строго синхронізовані із зйомкою цього полігону обраним для калібрування бортовим оптико-електронним сенсором космічної системи, скажімо КС типу «Січ». Про можливість надання таких строго синхронізованих зі зйомкою даних необхідно вести переговори з представниками CEOS, а їх отримання, якщо навіть було б теоретично можливим, то виявилось б істотно затратним і пов'язаним із значними обмеженнями у практичній реалізації. Наявні відкриті архівні дані зазначених типів характеристик полігонів мережі LANDNET Sites комітету CEOS є ретроспективним, а отже, не можуть бути використані для достовірного радіометричного калібрування і придатні лише для верифікації результатів оброблення даних.

Таким чином, актуальним є створення в Україні власної територіально розподіленої мережі калібрувальних полігонів для здійснення на них регулярного післястартового калібрування супутникових оптико-електронних сенсорів національних та зарубіжних супутникових місій та валідації супутникових даних. У перспективі створювана в Україні розподілена мережа полігонів за умов ефективної роботи та отримання достовірних результатів калібрування могла б увійти до світової мережі LANDNET Sites комітету CEOS.

У межах реалізації Загальнодержавних цільових науково-технічних космічних програм України Інститут космічних досліджень (ІКД) НАН України та ДКА України виконав цикл робіт з розроблення науково-методичного забезпечення та створення засобів калібрування супутникових оптико-електронних сенсорів з використанням калібрувального полігону на базі компактно розміщених тестових об'єктів на території Національного центру управління та випробувань космічних засобів (АРК Крим), яка є зараз анексованою. Доробок дослідників [3–9] стосується розроблення науково обґрунтованих методик визначення просторового розрізнення на місцевості і спектральної чутливості бортового оптико-електронного сенсора на стадії польоту, післястартового радіометричного калібрування сенсора за природними та штучними об'єктами загального призначення, його перехресного радіометричного калібрування за даними ДЗЗ існуючих супутникових місій (без використання обладнаних полігонів), атмосферної корекції за даними мережі AERONET, польових та аналітичних (за архівними даними ДЗЗ) спектральних досліджень тестових об'єктів, обґрунтування інфраструктури калібрувальних полігонів, створення геоінформаційної бази даних та розроблення програмного забезпечення реалізації методик оцінювання характеристик сенсора і його калібрування.

Сьогодні у зв'язку з неможливістю використання компактно розміщених калібрувальних ділянок на території АРК Крим і необхідністю виконання різних типів післястартового калібрування (що неможливо здійснити на окремому полігоні) запропонована ідея створення територіально розподіленої мережі контролю-калібрувальних полігонів на материковій Україні. Мережа полігонів має містити ділянки для здійснення таких типів калібрування та оцінювання характеристик супутникових оптико-електронних сенсорів на стадії польоту КС: радіометричного калібрування; визначення спектральної чутливості та меж спектральних діапазонів каналів; оцінювання просторового розрізнення на місцевості.

Проведено пошук, здійснено відбір та спектральні дослідження за даними супутникових знімків, придатних для калібрування тестових об'єктів на території України, зокрема у Хмельницькій, Чернівецькій, Житомирській, Херсонській, Запорізькій областях. Результати дистанційних спектральних досліджень

за даними супутникових знімків та наземних спектрометричних вимірювань внесені до розширеної та удосконаленої геоінформаційної бази даних. Загальним критерієм пошуку була наявність на об'єкті просторово однорідної ділянки спектрального коефіцієнта відбиття з лінійними розмірами щонайменше 10×10 наземних інтервалів дискретизації, що відповідає розмірам 10×10 пікселів супутниковому знімку. Для просторового розрізнення сенсора на місцевості близько 10 м лінійні розміри придатних тестових об'єктів повинні становити не менше $100 \text{ м} \times 100 \text{ м}$. В табл. 1 наведено фрагменти зведеної таблиці, у якій відображено ділянки — потенційні кандидати та тестові об'єкти розподіленого контрольно-калібрувального полігону у вказаних областях України. Це кам'яні, титанові, кварцитові кар'єри, піщана пустиня, соляні озера, природні протяжні утворення, які через стабільність у часі і гомогенність у просторі спектральних коефіцієнтів відбиття можна віднести до псевдоінваріантних (за термінологією комітету CEOS) тестових ділянок. На рис. 1. відображені ділянки у Херсонській області, а на рис. 2 — півострів Тендрівська коса, — потенційні кандидати на тестові ділянки розподіленого контрольно-калібрувального полігону.

Створено геоінформаційний векторний шар потенційних тестових ділянок розподіленого контрольно-калібрувального полігону на території України у формі shape-файлу полігональних областей засобами ГІС. Як основа для векторизації потенційних тестових ділянок розподіленого підсупутникового полігону використано знімки території України апаратурою супутників Landsat 8 (OLI) та Січ-2. У ручному режимі оцифровано об'єкти правильної форми, як правило, антропогенного походження (відстійник-накопичувач хімічних відходів, заповідник, тощо). Природні об'єкти з умовно гомогенним покриттям виокремлено шляхом попередньої класифікації панхроматичного зображення та подальшої автоматичної векторизації отриманого результату класифікації.

2. РОЗРОБЛЕННЯ ДИНАМІЧНОГО ПРОГРАМНОГО ЗАСОБУ ДЛЯ ВЗАЄМОДІЇ КОРИСТУВАЧА З СЕРЕДОВИЩА ГЕОІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ З БАЗОЮ ДАНИХ КОНТРОЛЬНО-КАЛІБРУВАЛЬНОГО ПОЛІГОНУ




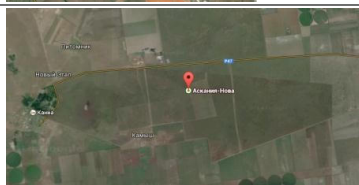






В [11] розглянуто створений прототип геоінформаційної бази даних (БД) підсупутникового калібрувального полігону, до якої можливий доступ користувача із середовища вільної геоінформаційної системи з відкритим кодом Quantum GIS (QGIS) [12]. QGIS використовується як інтегратор усіх даних і програмних додатків та візуалізатор супутникових знімків і векторних шарів тестових ділянок у картографічному інтерфейсі. Здійснено конвертування БД спектральних характеристик відбиття тестових об'єктів з локальної реалізації у середовищі MS Access до серверної реалізації у середовищі PostgreSQL. Створено динамічний додаток до QGIS для взаємодії користувача з середовища QGIS з об'єктно-реляційною БД та для відображення інформації з БД. Розроблено функціонально-алгоритмічну частину додатку та інтерфейс взаємодії користувача з БД.

У цій статті здійснено подальший розвиток динамічного програмного засобу у напрямку можливості введення, редагування та надання даних з БД з застосуванням технологій об'єктно-орієнтованого програмування та сучасних шаблонів проектування складних програм. Розроблено функціонально-алгоритмічне забезпечення додатку та його інтерфейс. Для розроблення динамічного додатку використовуються шаблони проектування програм, мови програмування Python 2.7–3.0 та PyQt 4.11 [13, 14]. У порівнянні з класичними додатками, написаними на C++, додатки, реалізовані мовою Python, є більш інтуїтивними, уніфікованими, мають більш гнучкі варіанти підтримки та поширення в силу динамічної природи самої мови програмування Python.

З моменту введення в QGIS підтримки мови програмування Python з'явилося багато різноманітних додатків до ГІС-системи на сторінці Plugin Repositories. Вихідний код даних програмних додатків можна використовувати для більш глибокого розуміння PyQGIS [15, 16]. Для автоматичної генерації базових файлів (скелета) типового Python додатку для QGIS використовується модуль «Plugin Builder», який створює шаблон модуля прямо із QGIS системи та не потребує з'єднання з Інтернет.

Оскільки створення нових об'єктів при реалізації програм є найбільш поширеним завданням, що постає перед розробником, то доцільним є створення низки інструментів та схем реалізацій, спрямованих на полегшення та уніфікацію такого роду процедур при розробленні складних програмних продуктів [18–20]. Породжуючі патерни проектування призначені для створення об'єктів і в той же час дозволяють системі залишатися незалежною від процесу породження об'єктів, типів об'єктів та їх кількості. Кожному додатку притаманні свої характерні особливості, такі як зовнішній вигляд, функціональні особливості, набір внутрішніх класів, підтримка типів файлів та ін. Незважаючи на такі відмінності, в усіх додатках є спільні риси. Наприклад, усі вони можуть пересуватися в полі інтерфейсу QGIS у різних напрямках, успадковують можливість викликати базові функції QGIS, можуть видозмінювати зовнішній інтерфейс, повинні відповідати базовим функціональним характеристикам (видалення, встановлення в систему, закриття, активація, запуск у фоновому режимі) та ін. Розробнику також необхідно забезпечити можливість розвитку додатку у подальшому, як функціональної складової та інтерфейсу, так і функцій взаємодії із системою. Для внесення подібних змін без модифікації існуючого коду, необхідно

Таблиця 1

Назва об'єкта	Координати та орієнтовні розміри однорідної ділянки	Зображення об'єкта
Олешківські піски	46,2299655 п.ш., 33,8689613 с.д.; (2000 м × 4000 м)	
Озеро Соляне	46,1256937 п.ш., 33,2173481 с.д.; (1000 м × 800 м)	
Відстійник ГАЛ "Кримський титан"	46,2299655 п.ш., 33,8689613 с.д.; (6000 м × 10000 м)	
Заповідник Асканія-Нова	46,464913 п.ш., 33,980986 с.д.; (2000 м × 2000 м)	
Вільногорське родовище	48,502366 п.ш., 34,074887 с.д.; (900 м × 1000 м)	
Новомосковський танковий полігон	48,682776 п.ш., 35,485224 с.д.; (900 м × 1200 м)	
Тендрівська коса	46,342288 п.ш., 31,522253 с.д.; (200 м × 2000 м)	
Кривий Ріг 1. Кар'єр Південний	47,929121 п.ш., 33,373456 с.д.; (900 м × 1300 м)	
Кривий Ріг 2. Кар'єр ЮГОК	47,841467 п.ш., 33,310302 с.д.; (1000 м × 1000 м)	
Кривий Ріг 3. Кар'єр ЮГОК	47,840454 п.ш., 33,308757 с.д.; (1500 м × 1800 м)	

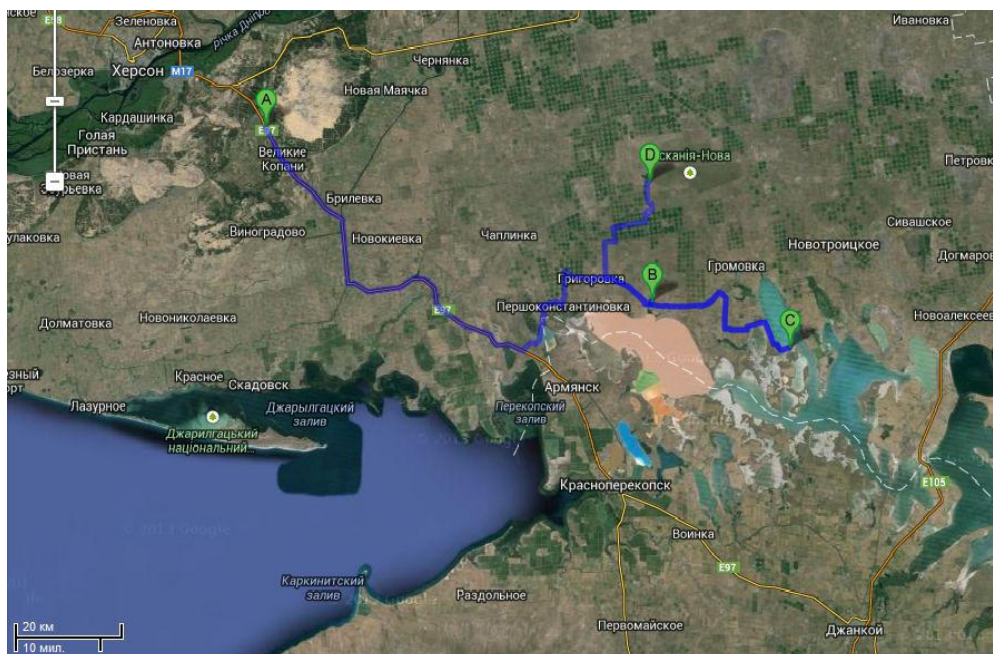


Рис. 1. Ділянки території України — потенційні кандидати на тестові об'єкти розподіленого контрольно-калібрувального полігону

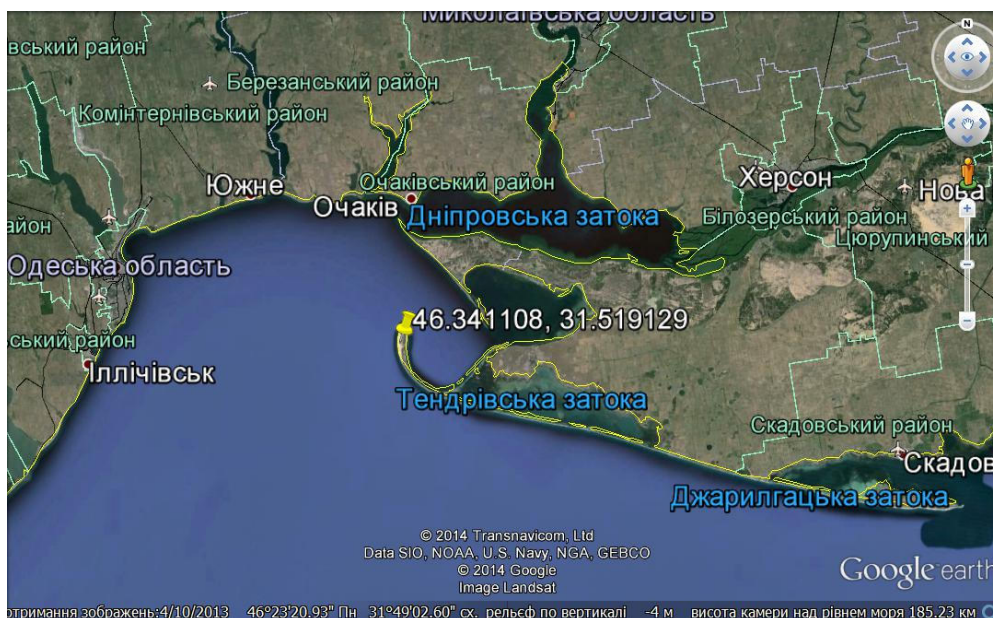


Рис. 2. Півострів Тендрівська коса — потенційний кандидат на тестову ділянку розподіленого контрольно-калібрувального полігону

на етапі проектування додатку постаратися зробити його максимально незалежним від конкретних типів файлів, функціональних складових та інтерфейсу. Здавалося б, для цього досить використовувати просту ієрархію класів. Проте простий поліморфізм не дозволяє повною мірою забезпечити загальний інтерфейс класів. Складність полягає у тому, що хоча код системи й оперує готовими об'єктами через відповідні загальні інтерфейси класів, у процесі взаємодії із додатком на певних етапах потрібно створювати нові можливості, безпосередньо вказуючи їх конкретні типи. Якщо код їх створення розосереджений по всьому додатку, то вносити корекції або замінювати існуючі дуже важко. У таких випадках на допомогу приходить шаблон проектування «фабрика об'єктів» — `ClassFactory()`, — у якій локалізується створення об'єктів. Робота «фабрики об'єктів» нагадує функціонування віртуального конструктора, де відбувається створення об'єктів потрібних класів без вказування безпосередньо їх типів. У найпростішому випадку для цього використовуються ідентифікатор типів. Даний тип шаблону проектування реалізований в останній версії QGIS 2.4.

Створення інтерфейсу додатку у середовищі QT Designer. Розроблення головного вікна динамічного додатку QGIS здійснюється у середовищі для розроблення графічного інтерфейсу користувача QT

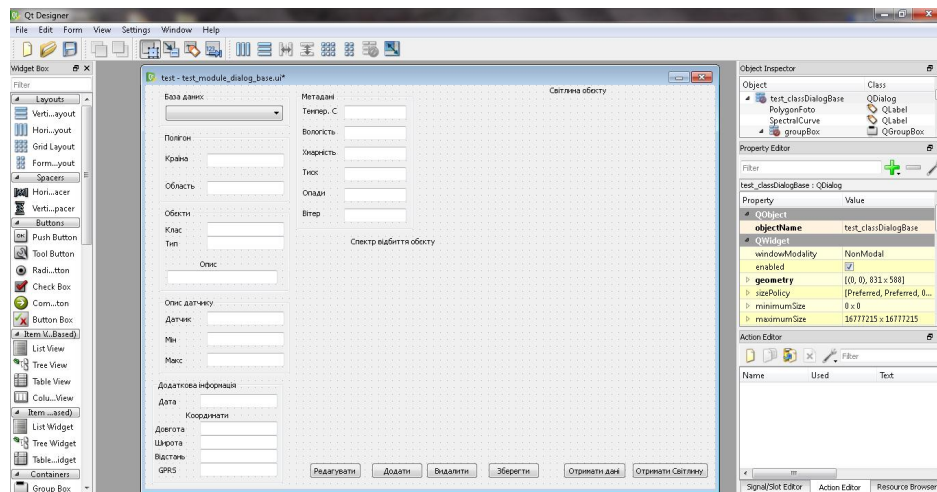


Рис. 3. Вікно інтерфейсу у системі QGIS для взаємодії користувача з базою даних контрольно-калібрувального полігону, створена у середовищі QT Designer



Рис. 4. Вікно тестової версії динамічного сервісу для взаємодії користувача з базою даних з середовища QGIS

Designer (QTD) [7]. QTD дозволяє створювати графічний інтерфейс програмного забезпечення за допомогою спеціальних інструментів. Існує панель інструментів «панель віджетів», у якій доступні для використання елементи інтерфейсу — віджети, такі як «випадаючий список» (ComboBox), «поле введення» (LineEdit), «кнопка» (PushButton) та багато інших. Кожен віджет має свій набір властивостей, що визначається відповідним класом бібліотеки Qt. Властивості віджета можуть бути змінені за допомогою «редактора властивостей». Характерною особливістю QTD є підтримка візуального редагування сигналів та слотів.

Після задоволення загальних розмірів вікна інтерфейсу користувача проводиться формування полів, задоволення властивостей та проведення ергономічного розподілу інформативних полів у вікні динамічного сервісу (рис. 3). Розроблений інтерфейс зберігається у файлі з розширенням ui, який підключається до створюваної програми за допомогою спеціальних методів бібліотеки Qt. Цей файл має xml-формат, і може, у разі необхідності, редагуватися у будь-якому текстовому редакторі. Після цього за допомогою вбудованих компіляторів PyQt відбувається трансляція xml-файлу на мову Python.

Після реалізації інтерфейсу проводиться створення файлу, у якому описано функціональну частину та методи взаємодії користувача з базою даних. Для завершення роботи над реалізацією динамічного сервісу проводиться його тестування в середовищі QGIS. Після цього вносяться модифікації та виправляються помилки. Відкоригований варіант розробленого програмного засобу, який є динамічним додатком до QGIS, протестовано з використанням сучасної версії системи QGIS. Вигляд вікна тестової версії динамічного сервісу для взаємодії користувача з базою даних з середовища QGIS представлено на рис. 4.

У вікні динамічного сервісу присутнє поле для вибору порядкового номеру тестового об'єкта бази даних. Після вибору об'єкта в інформаційних полях додатку виводяться метадані з БД та відповідна світлина об'єкта і його спектр відбиття.

Розроблений динамічний додаток дозволяє проводити низку маніпуляцій з даними тестових об'єктів.

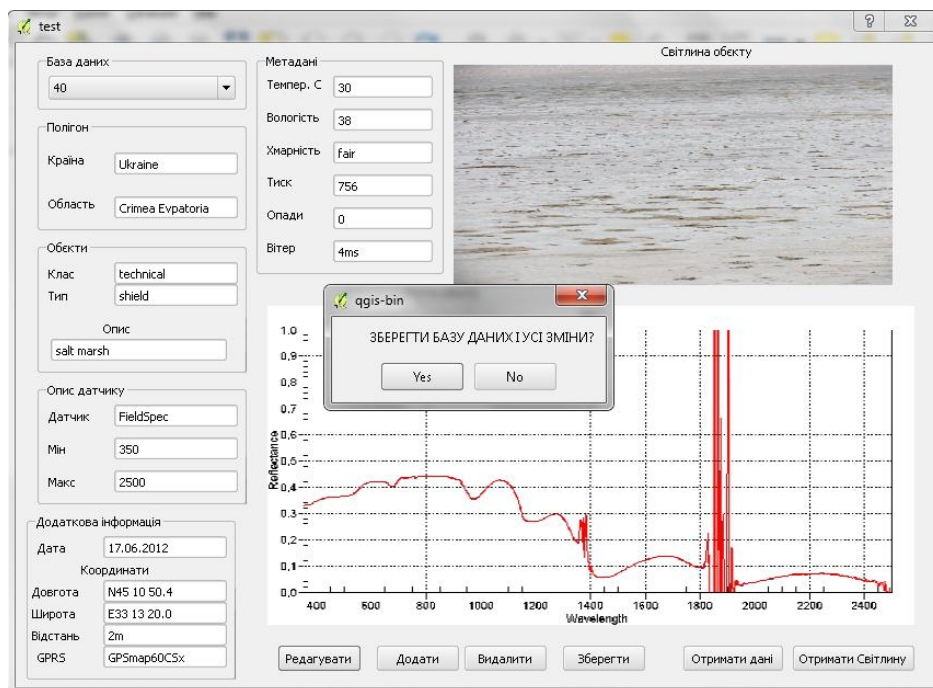


Рис. 5. Запит на підтвердження збереження усіх змін у базі даних

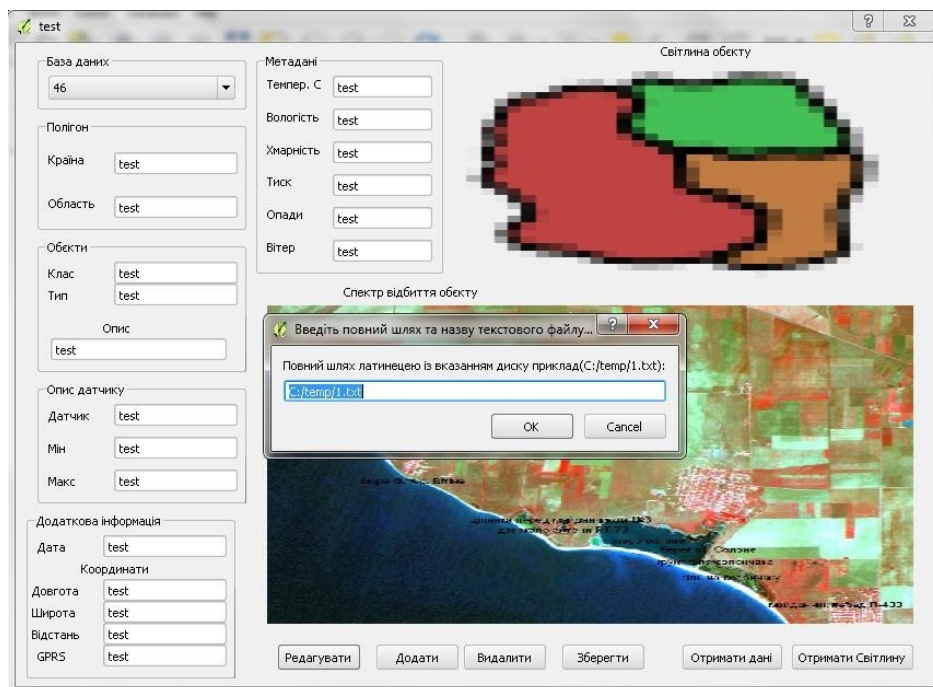


Рис. 6. Додавання нового тестового об'єкта та збереження інформації про нього у базі даних

ктів контрольно-калібрувального полігону: редагування вмісту бази даних; додавання нових об'єктів; видалення об'єктів; збереження змін; відображення цифрових значень спектрів відбиття; відображення світлин досліджуваного об'єкта. Редагування інформації проводиться шляхом вибору необхідного об'єкта, внесення корекцій у поля з метаданими. Внесення змін у базу даних відбувається після натискання кнопки «Редагувати», що викликає вікно підтвердження дії. Для остаточного внесення змін у базу даних необхідно їх зберегти натисканням кнопки «Зберегти», що, у свою чергу, вимагає підтвердження (рис. 5). Видалення об'єкта відбувається у такій послідовності: здійснюється вибір необхідного об'єкта за допомогою меню типу «випадаючий список»; натискання кнопки «Видалити»; підтвердження операції видалення об'єкта; збереження бази даних (рис. 5).

Додавання нових об'єктів проводиться шляхом натискання кнопки «Додати», після чого створюється новий об'єкт з присвоєним порядковим номером з порожніми полями у вікні сервісу для введення інформації. Після введення необхідної інформації і натискання кнопки «Редагувати» після підтвердження викликається вікно (рис. 6) для введення шляху та імені файлу зі спектральною характеристикою тестово-

вого об'єкта (txt), файлу з відображенням графіка спектру відбиття (jpg) та файлу зі світлиною об'єкта (jpg). Після підтвердження усіх дій необхідно зберегти результати введення у базі даних. Усі зміни, внесені у базу даних, будуть відображені після перезавантаження системи QGIS.

3. ВИСНОВКИ

Проаналізовано стан проблеми післястартового калібрування супутникових оптико-електронних сенсорів ДЗЗ та відзначено актуальність створення в Україні власної територіально розподіленої мережі контрольно-калібрувальних полігонів для здійснення на них регулярного калібрування на стадії польоту супутникових оптико-електронних сенсорів та валідації продуктів супутникових даних. Важливе значення має при цьому створення бази даних розподіленого контрольно-каліброваного полігону та розроблення динамічних сервісів взаємодії користувача з базою даних з середовища геоінформаційної системи.

Удосконалено базу даних та створено динамічні сервіси для взаємодії з нею з середовища відкритої геоінформаційної системи Quantum GIS для інформаційної підтримки контрольно-калібрувальної діяльності. Розроблено динамічний додаток до QGIS, який реалізує вказані сервіси у напрямку можливості введення, редагування та надання даних з БД з застосуванням технологій об'єктно-орієнтованого програмування та сучасних шаблонів проектування складних програм. Розроблено функціонально-алгоритмічне забезпечення додатку та інтерфейс взаємодії користувача з БД з середовища геоінформаційної системи. Проведено успішне тестування програмного засобу у 64-бітній операційній системі Windows 7 з використанням сучасної версії геоінформаційної системи QGIS.

1. Earth Observing System Data and Information System (EOSDIS) (<http://earthdata.nasa.gov/data/standards-and-references/processing-levels>)
2. Committee on Earth Observation Satellites (CEOS) (<http://www.ceos.org>)
3. Зельк Я.И., Яценко В.А., Набивач В.Е., Семенов О.В., Подгородецкая Л.В. Создание контрольно-калибровочного полигона подспутниковой поддержки // Международный научно-технический журнал «Проблемы управления и информатики». — 2013. — № 6. — С.123–141.
4. Зельк Я.И. Информационно-технологическая поддержка послестартовой калибровки оптико-электронных сенсоров наблюдения космической системы «Сич» // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — 2013. — № 5. — С.27–38.
5. Зельк Я.И. Создание средств и разработка методик послестартовой калибровки оптических средств космического наблюдения космической системы «Сич» // Вісник Астрономічної школи. — 2013. — 9. — С.93–101.
6. Зельк Я.И., Семенов О.В. Створення геоінформаційної бази даних підсупутникового калібрувального полігону // Вісник Астрономічної школи. — 2014. — 10, № 2 — С.115–122.
7. Попов М.О., Stankevich S.A., Zyelyk Ya.I., Sklyar S.V., Semenov O.V. Spectral response in-flight estimation of Sich-2 multispectral satellite system // Український журнал дистанційного зондування Землі. — 2014. — № 1. — С. 16–17.
8. Зельк Я.И., Чорний С.В., Коваленко О.О. Програмне забезпечення для радіометричного калібрування багатоспектральних оптичних систем дистанційного зондування Землі за перехресним методом // 14-та Українська конференція з космічних досліджень. Ужгород, 8–12 вересня 2014 р. Тези доповідей конференції. — Київ: ІКД НАН України та ДКА України, 2014. — С.140.
9. Попов М.О., Станкевич С.А., Зельк Я.И., Шкляр С.В., Семенов О.В. Калібрування спектральної чутливості сенсора багатоспектральної супутникової системи «Січ-2» за наземними спектрометричними вимірюваннями: попередні результати // Космічна наука та технологія. — 2012. — 18, № 5. — С.59–65.
10. LANDNET Sites (<http://calvalportal.ceos.org/ceos-landnet-sites>)
11. Зельк Я.И., Семенов О.В. Створення геоінформаційної бази даних підсупутникового калібрувального полігону // Вісник Астрономічної школи. — 2014. — 10, № 2 — С.115–122.
12. QGIS User Guide // Выпуск 2.2.0. — 2014. — 317 с.
13. Прохоренко Н. Python 3 и PyQt. Разработка приложений. — СПб.: БХВ-Петербург, 2012. — 704 с.
14. Summerfield M. Rapid GUI Programming with Python and Qt. The Definitive Guide to PyQt Programming. — Pearson Education, Inc. — 2008. — 643 p.
15. Dobias M. Документация PyQGIS // GIS-Lab.info. — 2012. — 78 с.
16. PyQGIS developer cookbook. Выпуск 2.2. QGIS Project. — 2014. — 88 с.
17. QT Designer manual. 2013 (<http://qt-project.org/doc/qt-4.8/designer-manual.html>)
18. Bruno R. Preiss Data Structures and Algorithms with Object-Oriented Design Patterns in Python. 2004. <http://www.brpreiss.com/books/opus7/>
19. Саттер Г., Александреску А. Стандарты программирования на C++. — М.: Издательство дом «Вильямс», 2005. — 224 с.
20. Александреску А. Современное проектирование на C++. — М.: Издательский дом «Вильямс», 2002. — 336 с.

Надійшла до редакції 9.11.2015

Прийнята до друку 16.12.2015