



УКРАЇНСЬКИЙ ЖУРНАЛ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ

ONLINE
ISSN 2313-2132

3' 2014



Починаючи з третього номеру нашого журналу в ньому буде публікуватися електронна версія монографії “Парниковий ефект і зміни клімату в Україні: оцінки та наслідки”, створеної колективом авторів Наукового центру аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України, Українського гідрометеорологічного центру та Національного університету “Киево-Могилянська академія” під редакцією академіка НАН України В. І. Лялька (Київ, видавництво “Наукова думка”, 2015 р.).

В цій роботі представлено результати теоретико-методичних обґрунтувань та польових інструментальних вимірів спектро-та газометричних характеристик довкілля, співставлених з матеріалами тематичної інтерпретації багатоспектральних космознімків.

Тут також викладено результати співставлення визначення балансу парникових газів, зокрема CO_2 , в Україні традиційними та дистанційними методами і запропоновано рекомендації по більш широкому застосуванню космічних технологій для вирішення проблем впливу змін клімату на стан довкілля та соціо-економічні процеси в Україні.

Таким чином, книга може слугувати довідником для широкого кола фахівців та адміністраторів, що займаються вирішенням подібних проблем не лише в Україні, але й за її межами.

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
Інститут геологічних наук
Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі

УКРАЇНСЬКИЙ ЖУРНАЛ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ

Ukrainian Journal of Remote Sensing

2014 • № 3

Засновник:
Національна Академія наук України
Науковий центр аерокосмічних
досліджень Землі
Інституту геологічних наук
НАН України

Електронний
науковий фаховий журнал.
Заснований у березні 2014 року.
Виходить щоквартально.
Домашня сторінка: www.ujrs.org.ua
E-mail: o.kudriashov@ujrs.org.ua

Головний редактор

академік НАН України В. І. Лялько



Рекомендовано до видання
Вченою радою Наукового центру аерокосмічних досліджень Землі
Інституту геологічних наук НАН України та рішенням Відділення наук про Землю
Національної Академії наук України

Мінімальні системні вимоги: Pentium III 600 Mhz, 128 Mb RAM
Windows-98, Internet Explorer 5.0
Acrobat Reader 5.0

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

В. І. ЛЯЛЬКО	головний редактор доктор геолого-мінералогічних наук, академік НАН України
М. О. ПОПОВ	заступник головного редактора доктор технічних наук
О. Т. АЗІМОВ	доктор геологічних наук
С. О. БАРТАЛЬОВ	доктор технічних наук (Росія, Москва)
В. Г. ВЕРХОВЦЕВ	доктор геологічних наук
Л. Д. ГРЕКОВ	доктор технічних наук
М. Д. ГРОДЗИНСЬКИЙ	доктор географічних наук, член-кореспондент НАН України
С. М. ЄСИПОВИЧ	доктор геологічних наук
Л. В. КАТКОВСЬКИЙ	доктор фізико-математичних наук (Білорусь, Мінськ)
С. С. КОХАН	доктор технічних наук
Н. М. КУССУЛЬ	доктор технічних наук
СТ. ЛЕВІНСЬКИЙ	доктор технічних наук (Польща, Варшава)
В. В. ЛУКІН	доктор технічних наук
М. М. ПОНОМАРЕНКО	доктор технічних наук
О. І. САХАЦЬКИЙ	доктор геологічних наук
С. А. СТАНКЕВИЧ	доктор технічних наук
А. А. ТРОНІН	доктор геолого-мінералогічних наук (Росія, Санкт-Петербург)
О. Д. ФЕДОРОВСЬКИЙ	доктор фізико-математичних наук, член-кореспондент НАН України
В. Г. ЯКИМЧУК	доктор технічних наук

Секретар редакції О. В. Седлєрова / тел. +380 44 484 04 85 / sedlerovaolga@gmail.com

Дизайн, верстка О. І. Кудряшов / тел. +380 44 482 03 72 / o.kudriashov@ujrs.org.ua

Редактор сайту А. Ю. Порошкевич / a.porushkevych@ujrs.org.ua

Матеріали друкуються в авторській редакції.
Редакція залишає за собою право виправлення статей. Зроблені зміни узгоджуються з автором..
Якість ілюстрацій відповідає якості наданих авторами вихідних матеріалів.

ЗМІСТ

Методи, засоби та технології обробки та інтерпретації аерокосмічної інформації

МЕТОДЫ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА И МОДЕЛИ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ И ЭКОЛОГИИ НА ОСНОВЕ МАТЕРИАЛОВ КОСМИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ И НАЗЕМНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ (по материалам работ отдела системного анализа ЦАКИЗ ИГН НАН Украины)

А. Д. Федоровский, В. Г. Якимчук, А. В. Соколовская 4

APPROACHES TO PREDICTION OF SPECKLE REMOVAL EFFICIENCY FOR DCT-BASED FILTER

V. V. Lukin, O. S. Rubel, O. V. Naumenko, B. Vozel, K. Chehdi 25

Використання інформації дистанційного дослідження Землі

АНАЛІЗ ВПЛИВУ РЕЛЬЄФУ НА ПОВЕРХНЕВИЙ ПЕРОЗПОДІЛ РАДІОНУКЛІДІВ ТЕРИТОРІЙ, ЩО ЗАЗНАЛИ РАДІАЦІЙНОГО ЗАБРУДНЕННЯ (НА ПРИКЛАДІ ЗОН ВІДЧУЖЕННЯ АТОМНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ ЧОРНОБИЛЬ І ФУКУСИМА-1)

Н. В. Пазинич, В. Є Філіпович 40

КОНЦЕПЦІЯ УТВОРЕННЯ ТА ПОШУКУ НАФТИ І ГАЗУ

С. М. Єсипович 44

ДОВГОТНА ЗАЛЕЖНІСТЬ СЕЗОННИХ ЗМІН ЗАГАЛЬНОГО ВМІСТУ ОЗОНУ В СЕРЕДНЬОШИРОТНІЙ АТМОСФЕРІ ПІВНІЧНОЇ ПІВКУЛІ

О. М. Євтушевський 49

Анонс. Розділи монографії

ПАРНИКОВИЙ ЕФЕКТ І ЗМІНИ КЛІМАТУ В УКРАЇНІ: ОЦІНКИ ТА НАСЛІДКИ (ПЕРЕДМОВА, РОЗДІЛ 1)

В. І. Лялько, О. І. Сахацький, Ю. В. Костюченко, Д. М. Мовчан, І. Г. Артеменко, М. В. Ваколюк 59

Хроніка

ЩО ПИШУТЬ ПРО НАС

О. В. Седлєрова 78

IAEG XII КОНГРЕС МІЖНАРОДНОЇ АСОЦІАЦІЇ З ІНЖЕНЕРНОЇ ГЕОЛОГІЇ (ТУРИН 2014) “ІНЖЕНЕРНА ГЕОЛОГІЯ ДЛЯ СУСПІЛЬСТВА І ТЕРИТОРІЇ”

Ю. О. Маслов 79

IAEG XII КОНГРЕСС МЕЖДУНАРОДНОЙ АССОЦИАЦИИ ПО ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ (ТУРИН 2014) “ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ ДЛЯ ОБЩЕСТВА И ТЕРРИТОРИИ”

Ю. А. Маслов 84

IAEG XII CONGRESS TORINO 2014 ENGINEERING GEOLOGY FOR SOCIETY AND TERRITORY OVERVIEW OF CONGRESS' MATERIALS (SEPTEMBER 15–19, 2014)

Yuriy Maslov 89

Правила та рекомендації для авторів

ПРАВИЛА ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ ДЛЯ АВТОРІВ (UA) 94

ПРАВИЛА И РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ АВТОРОВ (RU) 97

УДК 504.064.2.001.5:528.88.04

Методы системного анализа и модели решения задач рационального природопользования и экологии на основе материалов космической съемки и наземных наблюдений

(по материалам работ отдела системного анализа ЦАКИЗ ИГН НАН Украины)

А. Д. Федоровский*, В. Г. Якимчук, А. В. Соколовская

ГУ "Научный центр аэрокосмических исследований Земли Института геологических наук НАН Украины", Киев, Украина

Обоснована возможность применения методов системного анализа и моделей использования материалов космической съемки и наземных исследований для решения тематических задач рационального природопользования и экологии. А именно, приведены результаты адаптации, модификации, разработки и использования метода многокритериальной оптимизации, метода анализа иерархий, метода спектральной автокорреляции, метода структурно-текстурного анализа, метода пространственных интерполяций Колмогорова, метода фрактального анализа, метода системной динамики, метода адаптивного баланса влияний, метода множественной регрессии.

Ключевые слова: методы системного анализа, моделирование, природопользование, космическая съемка, дистанционное зондирование Земли

© А. Д. Федоровский, В. Г. Якимчук, А. В. Соколовская. 2014

Введение

Под рациональным природопользованием понимается хозяйственная деятельность, обеспечивающая высокоэффективное использование природной среды, не приводящая к ее резким изменениям, наносящим угрозу здоровью человека, в том числе и последующим поколениям. В связи с этим важной задачей является поиск методов оптимального использования информации космического геомониторинга в комплексе с наземными наблюдениями для удовлетворения экологических, экономических и культурно-оздоровительных потребностей населения, обеспечивающих устойчивое развитие природопользования.

При решении задач использования природных ресурсов на основе системного подхода будем рассматривать окружающую природную среду как сложную систему, состоящую из иерархической совокупности структурных образований, объединенных определенными естественными процессами, находящимися во взаимобусловленной связи. Использование при этом материалов аэрокосмической съемки на основе системных методов позволит получить новые качественные и количественные данные, не выявляющиеся при традиционных наземных исследованиях с помощью системного подхода и математического аппарата системного анализа обосновываются наиболее рациональные математические модели, выполняются моделирование и прогноз развития исследуемых процессов. Разработка и внедрение системных методов и моделей в технологию

использования материалов аэрокосмической съемки способствуют расширению функциональных возможностей космического геомониторинга и создает методическую основу для формирования нового научно-методического направления решения задач природопользования и экологии.

Из всех известных определений системного подхода приведем формулировку Н. Н. Моисеева [9]: "системный подход — это общеметодологический принцип, который базируется на теории систем как методе познания и реализуется средствами системного анализа". Наиболее важными вопросами, представляющими сущность системного подхода, являются:

- наличие сложной системы с подсистемами, которые рассматриваются как одно целое и связаны единой целью;
- декомпозиция, оптимизация и синтез системы с коррекцией в процессе ее формирования;
- введение единого обобщающего критерия, сформулированного для всей системы в целом по большинству системных показателей (частных критериев);
- разработка метода отсева неперспективных вариантов решения задачи и целенаправленного выбора компромиссного варианта.

Таким образом, системный подход — это совокупность методов для принятия решений на основе всестороннего анализа и моделирования взаимосвязи составляющих процессов в сложной системе, включая: технические, экологические, экономические и социальные подсистемы в условиях большого количества информации разной физической природы.

В ЦАКИЗ ИГН НАН Украины на основе материалов космической съемки и системных методов были

решены различные тематические задачи природопользования и экологии [7]. В том числе, оценка нефтегазоперспективности участков ряда территорий, моделирование влияния техногенной нагрузки на состояние окружающей среды, оценка риска возникновения чрезвычайных ситуаций, прогнозная оценка урожая озимой пшеницы, моделирование и прогноз устойчивого развития городских агломераций, оптимизация орбитального покрытия земной поверхности спутниковой группировкой, параметрический синтез состава космических систем ДЗЗ, оценка эффективности использования космической информации ДЗЗ и т. д.

Ниже рассмотрены результаты адаптации, модификации, разработки и применения в ЦАКИЗ системных методов и математических моделей использования космической информации ДЗЗ для решения задач природопользования и экологии.

1. Метод многокритериальной оптимизации (МКО) [18] используется при решении задач, для которых нужен одновременный учет значений многих частных критериев, каждый из которых характеризует одну из сторон рассмотренной проблемы. При этом часто необходимо найти компромиссный вариант исследуемой системы, когда процесс выбора происходит с использованием единого обобщенного критерия. В рассматриваемом случае задача состоит в выборе компромиссного варианта и оценки степени принадлежности каждого из множества альтернативных вариантов $A(i) = \{a_1, a_2, \dots, a_j, \dots, a_m\}$ к искомому (эталонному) варианту $B = \{b_1, b_2, \dots, b_j, \dots, b_m\}$, где a и b сравниваемые параметры.

Метод МКО состоит из следующих этапов: введение функции близости сравниваемых величин a и b , вычисление оценки для функции близости — S , и функции принадлежности — F (обобщенного критерия). Адаптация метода для решения конкретной задачи природопользования заключается в формировании соответствующего обобщенного критерия — F и выборе функций: близости — S и соответствия — f , которые определяются характером задачи.

Принципиальным методологическим отличием метода МКО от прогноза залежей углеводородов на основе традиционных прямопоисковых показателей в виде АТЗ (аномалий типа залежь) состоит в том, что в случае МКО принадлежность исследуемого участка к определенному классу заменяется непрерывной функцией принадлежности. Именно она определяет меру соответствия исследуемого участка параметрам участка, принятого за эталон. В качестве последнего выбирается близкий по геологическим и физико-географическим условиям участок с установленной промышленной нефтегазоносностью.

Сведем начальную задачу к одноразовой максимизации функции принадлежности, которая представляет собой линейную свертку частных критериев минус штраф за нарушение ограничений

$$F(a, b) = \sum_{j=1}^m \rho(a_j, b_{ej}) \cdot f(a_j, b_{ej}) - \sum_{b=a} \mu(a, b); \quad (1)$$

где $f(a_j, b_{ej}) = [1 - S(a_j, b_{ej})]$ — функция соответствия, которая описывает степень совпадения значений сравниваемых величин. Функция соответствия тем больше, чем меньше разница между значениями информативных признаков эталонного участка и характеристиками исследуемого участка. $S(a_j, b_{ej})$ — функция близости, которая характеризует близость отдельных значений информативных признаков исследуемого участка соответствующим значениям признаков эталона. Так, например, когда информативные признаки максимизируются

$$S(b_{ej}, a_j) = \begin{cases} (a_j - b_{ej})/a_j, & a_j \geq b_{ej} \\ 0, & a_j < b_{ej} \end{cases}$$

В случае, когда информативные признаки минимизируются

$$S(b_{ej}, a_j) = \begin{cases} (b_{ej} - a_j)/b_{ej}, & a_j < b_{ej} \\ 0, & a_j \geq b_{ej} \end{cases} \quad (2)$$

Если в A нет какого-либо информативного признака, принадлежащего эталону, то $S(a_j, b_{ej})$ принимает максимальное значение, равное единице. Функция близости равна нулю, когда значения признаков исследуемых участков выше или равны значениям характеристик эталона. $\rho(a_j, b_{ej})$ — весовой коэффициент признаков эталона, который отражает приоритеты информативных признаков; $\mu(a, b)$ — функция штрафа за то, что в исследуемом участке присутствуют признаки, которые не принадлежат данному эталону. Функция штрафа равняется нулю, если в исследуемом участке присутствуют те и только те признаки, которые имеются на эталонном участке, и возрастает с увеличением количества несовпадающих признаков.

При поиске углеводородов на исследуемой территории участка с наиболее высокой нефтеперспективностью решением многокритериальной задачи является участок, для которого обобщенная функция принадлежности достигает наибольшего значения (когда с эталоном совпадает большее число информативных признаков).

Ниже, в качестве примера, приводятся результаты оценки нефтеперспективности участка территории Днепровско-Донецкой впадины (ДДВ), выполненные в ЦАКИЗ Украины на основе космической информации ДЗЗ и адаптированных алгоритмов МКО [1].

Площадь ДДВ размером $60 \times 80 \text{ км}^2$ была разделена на 270 элементарных участков размером $4 \times 4 \text{ км}^2$, которые затем были прокалиброваны по информативным признакам. В качестве исходной информации был использован космический снимок Landsat 7 спектрального диапазона $0,53\text{--}0,61 \text{ мкм}$ с пространственным разрешением 30 м (рис. 1–1), по которо-

му в качестве информативных признаков в процессе дешифрирования были вычислены параметры Харалика (например, “энергия”, рис. 1–2). Кроме того, были использованы тематические геологические карты, аномалии параметров которых в той или иной мере связаны с формированием нефтяных и газовых залежей (например, карта значений параметров геотермического состояния, рис. 1–3). На рисунке эталонные нефтяные месторождения показаны черными овалами.

Результаты классификации исследуемой территории по выбранным эталонам приведены на рис. 1–4 носительная нефтеперспективность исследуемых участков ДДВ представлена яркостью изображения, значение которой пропорционально нефтеперспективности исследуемых участков.

В отличие от прямых методов, рассчитанных на “однозначность” и “точность” соответствия различных по своей природе аномалий залежам углеводородов, данный подход отвечает современным представлениям о нелинейном и неравномерном характере процессов нефтегазонакопления [3]. Метод МКО может быть полезен, прежде всего, при выборе перспективных участков для дальнейших детальных геофизических исследований, ранжирования прогнозно-нефтегазонасыщенных площадей при вводе их в поисковое бурение, а также для экологического мониторинга нефтегазодобывающих районов.

2. Метод анализа иерархий (МАИ) [12]. Когда оценка того или другого процесса связана с такими понятиями как практическая необходимость, технологическая возможность, экономическая целесообразность, которые не подвергаются непосредственным измерениям и вычислениям, используют метод *анализа иерархий* (Analytic Hierarchy Process), предложенный Т. Саати (США) на основе лингвистического подхода и экспертной информации. Метод дает возможность на основе экспертных оценок сформировать необходимую целевую функцию и прове-

сти рейтинг альтернативных вариантов. Основная проблема использования метода состоит в последовательной декомпозиции целевой функции на более простые критериальные составляющие — показатели, которые объединяются в соответствующие иерархические уровни. Наиболее ответственным этапом является построение иерархии суждений между первым и последним уровнями. Задача первого уровня состоит в формировании цели, которая будет достигнута в процессе решения задачи.

$$\begin{aligned}
 &A_1, A_2, A_3, \dots, A_n \\
 &A_1 \begin{matrix} \frac{w_1}{w_1} & \frac{w_1}{w_2} & \frac{w_1}{w_3} & \frac{w_1}{w_4} \end{matrix} \\
 &A_2 \begin{matrix} \frac{w_2}{w_1} & \frac{w_2}{w_2} & \frac{w_2}{w_3} & \frac{w_2}{w_4} \end{matrix} \\
 &A_3 \begin{matrix} \frac{w_3}{w_1} & \frac{w_3}{w_2} & \frac{w_3}{w_3} & \frac{w_3}{w_4} \end{matrix} \\
 &A_n \begin{matrix} \frac{w_n}{w_1} & \frac{w_n}{w_2} & \frac{w_n}{w_3} & \frac{w_n}{w_4} \end{matrix}
 \end{aligned} \quad (3)$$

Когда рассмотренная проблема представлена иерархически, для формализации экспертной процедуры строится множество матриц попарных сравнений для каждого уровня и по каждой составляющей данного иерархического уровня. Проводится их нормализация и оценка векторов приоритетов с точки зрения степени их влияния на составляющие предыдущего уровня. Подобные матрицы должны быть построены для попарных сравнений каждой альтернативы на первом уровне относительно общей цели на нулевом уровне и т. д. При этом сопоставления происходит не по абсолютным значениям, а за степенью относительного преимущества по каждому параметру. Данная процедура выполняется на каждом иерархическом уровне, включая последний, для которого вычисляются приоритеты с точки зрения степени их влияния на предпоследний уровень.

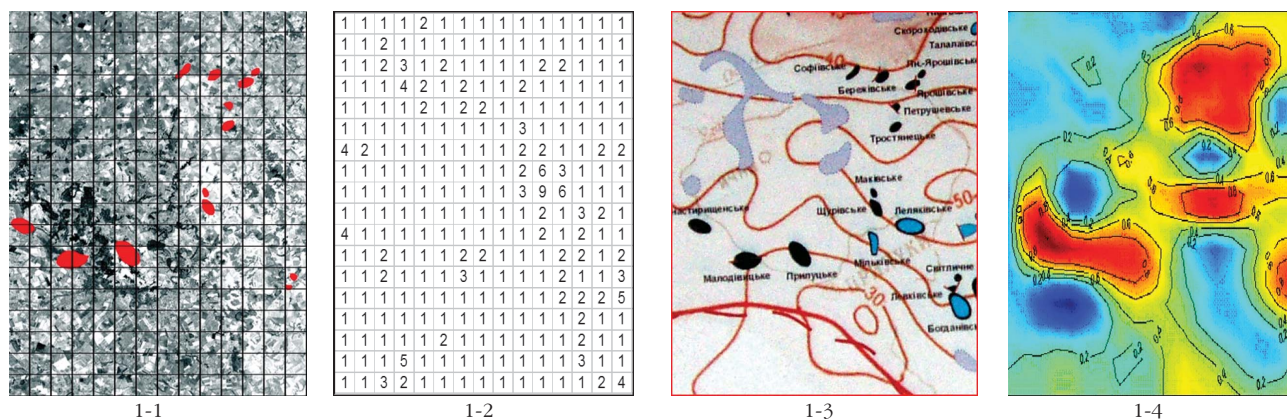


Рис. 1. Оценка нефтеперспективности участка ДДВ (на рисунках овалами красного цвета обозначены участки с действующей промышленной нефтегазонасыщенностью принятые за эталоны): 1–1 — фрагмент космического снимка исследуемой территории ДДВ Landsat 7; 1–2 — матрица значений параметра Харалика «энергия» того же участка ДДВ; 1–3 — карта значений параметров геотермического состояния участка ДДВ; 1–4 — результаты оценки нефтеперспективности участка ДДВ (красный цвет соответствует нефтеперспективным участкам).

В результате система сравнений представляется квадратной матрицей. Элементы матрицы — отношение абсолютных приоритетов экспертов — представляют собой оценки, суждения эксперта или их группы об относительной важности отдельных параметров, которые сравниваются по отношению к критерию более высокого уровня по принятой шкале оценок. Типичная матрица сравнения имеет вид

где A_n — элементы, которые составляют уровень; $\frac{w_a}{w_b}$ — отношение абсолютных приоритетов.

Для удобства представления дальнейших соображений матрицы попарных сравнений, которые всегда являются квадратными и обратно симметричными, запишем в виде:

$$\|a_{ij}\|, a_{ji} = 1/a_{ij}, \quad (4)$$

где $i, j = 1, \dots, n$ число критериев, сравниваемых на каждом уровне.

Дальше вычисляются компоненты собственного вектора матрицы

$$a_1 = \left(\prod_{j=1}^n a_{1j} \right)^{1/n}; \dots; a_n = \left(\prod_{j=1}^n a_{nj} \right)^{1/n} \quad (5)$$

Из полученных групп матриц определяются нормальные оценки вектора локальных приоритетов:

$$K_1 = a_1 / \sum_i a_i; \dots; K_n = a_n / \sum_i a_i \quad (6)$$

После того как компоненты собственного вектора получены для всех n строк матрицы, становится возможным их использование для дальнейших вычислений.

Обработка матриц, например, четырех уравнений дает возможность выделить векторы приоритетов соответствующих уравнений, K^1, K^2, K^3, K^4 , компоненты которых определяют их приоритеты с точки зрения эксперта.

Метод анализа иерархий позволяет сконструировать необходимую целевую функцию и оценить степень влияния на нее каждой из характеристик исследуемой системы. В обобщенном критерии K первый уровень отвечает принятию решения по всем векторам целевых приоритетов, второй — вектору целевых приоритетов, третий — компонентам вектору целевых приоритетов и четвертый — компонентам вектора приоритетности показателей сравниваемых альтернатив.

Если получены все необходимые весовые коэффициенты, то формула свертки обобщенного критерия для сравниваемых вариантов имеет вид:

$$K = \sum K_l^1 \sum K_m^2 \sum K_r^3 \sum K_p^4 \cdot x_p^s \quad (7)$$

где верхний индекс критериального приоритета обозначает уровень иерархии; x_p^s — коэффициент преимущества варианта s по показателю p .

Значение D позволяет установить преимущество того или другого альтернативного варианта системы по всей совокупности анализируемых факторов.

Ниже, в качестве примера, приводятся результаты оценки нефтеперспективности фрагмента территории Каспийского шельфа Туркменистана, выполненных в ЦАКДЗ в условиях отсутствия эталонных участков с известной нефтепродуктивностью. Оценки получены экспертами по единой балльной системе приоритетов на основе космической информации ДЗЗ (рис. 2–1) и специально разработанной иерархической модели [19].

Иерархическая модель имеет пять уровней. На нулевом уровне сформулирована целевая установка — оценка нефтеперспективности участков туркменистанского шельфа Каспийского моря. Первый уровень включает используемые источники информации: космические снимки в разных спектральных диапазонах, картографический материал (батиметрические карты), геофизическую и геологическую информацию. На втором уровне перечислены характеристики источников информации: поля яркости и цвета, температурные поля, структурно-геоморфологические элементы та др. Третий уровень состоит из методов анализа элементов предыдущего уровня, а именно структурно-текстурный и спектральный анализ космических изображений, морфометрический и морфоструктурный анализ, геофизические, химические и биологические методы. Четвертый уровень составляется из перечня информативных признаков (оптические, радио, геофизические и геологические параметры, например, рис. 2–2), относительные значения которых на каждом исследуемом участке определяются по балльной шкале от 1 до 7. Пятый уровень состоит из перечня участков, которые исследуются.

Далее, согласно методу анализа иерархий, была составлена матрица парных сравнений, и для каждого элемента каждого уровня было выполнено сравнение с элементами предыдущим уровнем. Значения соответствующих параметров и обобщенного критерия K вычислялись согласно уравнений (3)–(7).

Результаты классификации исследуемой территории Каспийского шельфа методом анализа иерархий приведены на рис. 2–3. Относительная нефтеперспективность исследуемых участков представлена яркостью их изображений, значение которой пропорционально их нефтеперспективности.

Расчет индекса согласованности в матрицах парных сравнений позволяет выполнить проверку и выявить наличие противоречивости данных. Кроме того, МАИ позволяет оценить важность каждого признака наличия месторождения в составе иерархии признаков путем последовательного их исключения.

3. Метод пространственной интерполяции Колмогорова (ПИК) [6] используется для получения регуляризованных, равномерно с определенным шагом распределенных в заданной системе координат искомым данным. Совокупность таких методов, получила название даунскейлинга (down-scaling), или “уменьшения размерности”. Их применение позволяет получить из существующих неравномерно распределенных данных с низкой разрешающей способностью регуляризованные массивы данных, которые соответствуют заданным требованиям моделирования и позволяют минимизировать ошибки, присущие системам наблюдения.

В рассматриваемой задаче при условии однородности геологического строения исследуемой территории и известных информативных признаков месторождений метод ПИК позволяет получить на основе существующих неравномерно распределенных месторождений регуляризованные массивы данных о нефтегазоперспективности исследуемых участков территории.

Принцип Колмогорова утверждает, что наилучшей оценкой (в классе линейных оценок) является условное по отношению к наблюдениям среднее значение.

$$f_o(q_i) = \sum_{j=1}^m b_{ji} f_o(p_j). \quad (8)$$

Задача поиска оптимальной оценки $f_o(q_j)$ таким образом, сводится к поиску значений весовых коэффициентов b_{ji} .

Согласно методу Колмогорова система уравнений

$$B_f(q_j - p_i) = \sum_{k=1}^N b_{jk} B_u(p_k - p_i) \quad (9)$$

позволяет определить все необходимые весовые коэффициенты интерполяции для вычисления значений $f_o(q_j)$.

Здесь $B_u(p_k - p_j)$ — матрица значений автокорреляционной функции (АКФ) между каждой парой точек, в которых известно значение этого поля (между каждой парой эталонных узлов), а $B_f(q_j - p_j)$ — вектор значений АКФ для расстояний от точки, для которой оценивается значение поля до каждой из точек с известным значением поля.

Пространственные корреляционные функции интерполируемых полей обычно строят приближенно по отдельным значениям в сходных по пространственной изменчивости районах. Так как корреляционная функция — осредненная характеристика поля и в силу этого меняется более медленно, чем само поле, то, получив ее оценку в одном месте поля, можно использовать ее в других местах.

Смысл колмогоровской интерполяции состоит в том, что точка, в которой восстанавливается значение, связана с эталонными точками корреляционными и взаимными корреляционными зависимостями. Коэффициенты интерполяции в первом приближении пропорциональны коэффициентам корреляции между точкой интерполяции и точками измерений. Коэффициент взаимной корреляции учитывает влияние на значение функции в точке интерполяции значения, в каждой из точек, для которых это значение известно, т. е. коэффициент взаимной корреляции вычисляется для интерполируемой точки с каждой из известных (эталонных) точек, тем самым строится вектор значений корреляционной функции.

Так как рассматривается пространственная корреляция, то корреляционная функция является фун-

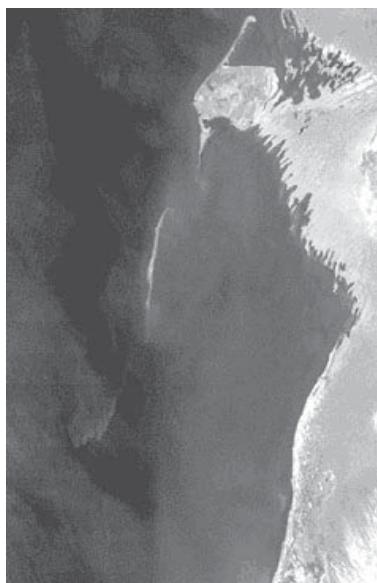


Рис. 2–1. Фрагмент космического снимка Каспийского шельфа Terra-Modis (R = 500 м, 545–565 нм)

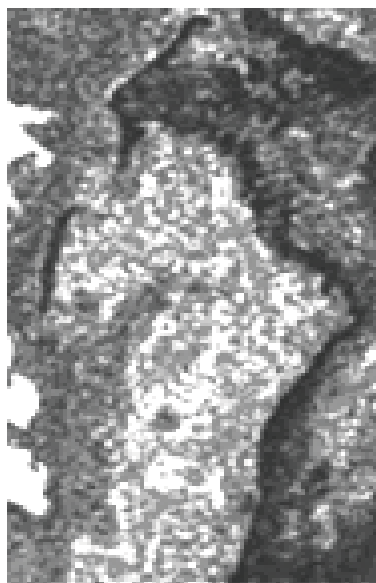


Рис. 2–2. Распределение значений параметра Харалика “однородность” по космическому снимку

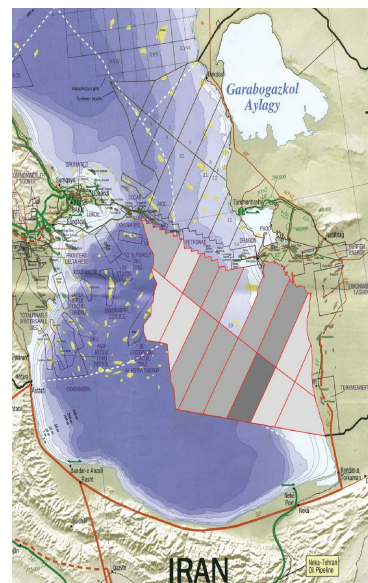


Рис. 2–3. Карта Каспийского моря с оценкой нефтеперспективности участков шельфа (пропорционально яркости изображения)

кцией расстояния и строится путем расчета значений для определенных расстояний.

Для удовлетворительной оценки значений корреляционной функции нужно набрать, по меньшей мере, 8–10 пар точек, находящихся примерно на одинаковом удалении друг от друга (одинаковые сдвиги). В данном случае $n = 2$, т. е. пространство двумерное и расстояние между точками определяется известной формулой расстояния

$$d(p_1, p_2) = \sqrt{(x(p_1) - x(p_2))^2 + (y(p_1) - y(p_2))^2}.$$

Далее образовать произведения значений поля в этих точках и вычислить среднее арифметическое из этих произведений. Эта процедура даст одно значение корреляционной функции при данном аргументе — сдвиге. Получив таким способом несколько точек, можно построить аппроксимирующую функцию для оценки корреляционной функции.

Аппроксимировав корреляционную функцию, вычисляем матрицу и столбец свободных членов для системы Колмогорова (3. 2). Решив ее, определяем коэффициенты для линейного разложения, которое дает нам значение искомого параметра (толщина пластов) в рассматриваемой точке. Для каждой точки множества строим свой вектор свободных членов и решаем систему линейных уравнений (3. 2).

Пространственная корреляционная функция — функция, зависящая от одного аргумента — расстояния между двумя точками поля. Таким образом, когда нужно определить коэффициент корреляции между двумя точками поля, измеряют расстояние между ними и определяют значение коэффициента корреляции как значение аппроксимированной корреляционной функции от полученного расстояния.

В системе уравнений оптимальной интерполяции используются коэффициенты корреляции между точкой территории, куда выполняется интерполяция, и точками измерений (эталонными), и коэффициенты корреляции между эталонными точками. Учитываются взаимные статистические связи между эталонными точками. Их значения также определяются как значения аппроксимированной корреляционной функции от соответствующих расстояний между эталонными точками.

Ниже, в качестве примера, приведены результаты применения метода ПИК для определения толщин нефтегазоносных пластов песчаника на выделенных участках территории ДДВ [3].

Совокупность информативных признаков, определяющих наличие углеводородов, представляют собой поля природной среды в виде случайных функций пространственных координат. Допустим, что общее количество информативных признаков равно n , т. е. каждый участок характеризуется набором (вектором) из n признаков. Участки, на которых существуют месторождения углеводородов, будем счи-

тать эталонами. При этом известны значения признаков нефтегазоперспективности только в некоторых пространственно разнесенных точках поля, соответствующих известным месторождениям, а для поисковых работ требуется карта дискретных значений всего этого поля. Для построения карты поля признаков необходимо выполнить интерполяцию из тех точек, где имеются измерения, во все узлы сеточной области, покрывающей заданную территорию. Поле признаков в каждом из узлов интерполяционной сетки связано со значениями признаков известных месторождений. Из всей сетки для интерполяции выделяется только множество перспективных узлов (участков) I_u , для которых случайное поле признаков однородно в широком смысле, т. е. стационарно и изотропно. При этом корреляция значений признаков для различных точек будет зависеть только от пространственного расстояния между ними (эталонными и исследуемыми участками).

На карте (рис. 3), полученной с фрагмента космического снимка, кружками отмечены пробуренные скважины с известными толщинами пластов песчаников: Золотихинская, Луценковская, Свиридовская и Мехедовская (нижняя цифра — номер скважины, верхняя — толщина пласта), которые принимаются за эталон.

Задача заключалась в определении толщины нефтеперспективных пластов песчаника на выбранных и не исследованных участках (на рис. 3 обозначены крестиками).

Обозначим известные значения толщин пластов песчаника — $f_0(x_i)$, где x_i принадлежит множеству скважин, принятых за эталон и обозначенных I_e .

Математически это можно представить следующим образом: известная информация по интересующей территории характеризуется набором из $n + 1$ информационных характеристик (признаков), которые обозначаются как:

$$f_j(x_i), \quad x_i \in I = I_e \cup I_u \cup I_s, \quad j = \overline{0, n}$$

здесь I все участки территории, I_e — эталонные участки, с известным значением толщины пластов, I_u — исследуемые участки, для которых определяется значение толщины пластов, а I_s — бесперспективные участки, исключенные из дальнейшего рассмотрения.

Пусть I_e содержит m участков, $m < M$, для удобства и определенности обозначим эти участки p_i , $i = \overline{1, m}$, I_u — остальные $M - m$ участков, обозначим q_j , $j = \overline{1, M - m}$ для которых определены значения только для n признаков, $j = \overline{1, n}$, M — общее количество участков (узлов интерполяции), рассматриваемых ниже.

Для аппроксимации корреляционной функции использовался метод аппроксимации кубическими сплайнами как наиболее точный. Получив корреля-

ционную функцию, вычислялась матрица и столбец свободных членов для системы Колмогорова.

Результаты применения метода ПИК для определения толщин нефтегазоносных пластов песчаника на выделенных участках территории представлены на соответствующих точках карты (рис. 3).

Целесообразность применения метода ПИК заключается в возможности до выполнения дорогостоящих и трудоемких полевых исследований использовать в условиях однородной геологической среды математические методы пространственной интерполяции для получения предварительных данных о нефтегазоперспективности еще неразведанных участков на территории с известными и эксплуатируемыми скважинами.

4. Фрактальный анализ [8] открывает новые возможности для получения объективной геодинимической информации на основе реальных данных, дает оценку конфигурации и структуры исследуемого процесса или объекта, периодичности распределения геометрических, физических и других характеристик. Введение мультифрактальных параметров позволяет оценить степень упорядоченности и стойкости системы к внешнему влиянию, что невозможно определить обычными другими статистическими методами. В качестве количественной меры, описывающей структуру составляющих объекта, принято использовать фрактальную размерность Ренни — Dq , которая показывает насколько плотно и равномерно элементы данного множества заполняют евклидово пространство. Значение $D(q)$ — инвариантно к размеру выборки, площади, масштабу.

Возможность использования фрактального анализа для оценки вариабельности составляющих исследуемого объекта устанавливалось проверкой выполнения двух условий: во-первых, степенной зависимостью роста компонент статистической суммы Zq от размера выборки N и, во-вторых, не возрастающим видом функции спектра обобщенных размерностей Dq , динамика изменений которых характеризует закономерности роста и эволюции процесса.



Рис. 3. Карта исследуемого фрагмента территории Днепро-Донецкой впадины

$$Z_q(N, q) = \sum_{i=1}^n p_i^q, \quad p_i = \frac{N_i}{N}, \quad \sum_{i=1}^n p_i = 1 \quad (10)$$

$$D_q = \frac{\tau(q)}{1-q} \quad \text{при } q \neq 1, \quad \text{где } \tau(q) = \frac{\log \sum_{i=1}^n p_i^q}{\log N} \quad (11)$$

Ниже, в качестве примера, приводятся результаты оценки структуры составляющих урболандшафта территории города Киева, выполненные на основе космической информации ДЗЗ (рис. 4–1) и разработанной мультифрактальной модели [13].

В рассматриваемом случае фрактальное моделирование выступает как средство описания сложных урбанистических систем и процессов, характеризующихся изменчивостью от отдельных составляющих до всей городской среды в целом. В нашем случае фрактальность городской территории интересует возможностью исследовать динамику структуры урболандшафтов и ее влияние на экологическое состояние Киева.

Интегральная оценка вариабельности Dq структуры составляющих (рис. 4–2) демонстрирует существенные изменения за период 1984–2013 гг. При этом максимальная вариабельность составляющих урболандшафта за анализируемый период времени проявляется при отрицательных значениях q индексов Dq , характеризующих немногочисленные типы составляющих, а именно: пустыри, территории, отведенные под строительство и участки вырубki лесов.

Результаты исследования показали, что развитие Киева происходит за счет преобразования, уплотнения и более рационального использования внутренней структуры составляющих без существенного расширения границ городской территории, что неизменно сказывается на экологическом состоянии городской среды. Моделирование и прогнозная оценка развития структуры городских агломераций позволит более рационально планировать городские строительные работы с учетом их влияния на окружающую среду.

Рассмотренный пример использования индексов вариабельности, исследованный на фактических данных составляющих урболандшафта г. Киева, подтверждает, что основное преимущество методов исследования вариабельности, состоит в возможности получения интегральных оценок динамики структуры составляющих исследуемого объекта или процесса.

5. Генетические алгоритмы (ГА) [10] — одно из современных направлений системного анализа, построенное на теоретических достижениях микробиологии, которое в последние годы интенсивно развивается для параметрического синтеза и оптимизации сложных систем.

При описании ГА принято использовать терминологию, заимствованную из молекулярной биоло-

гии и генетики, что еще раз подчеркивает аналогию с эволюционными процессами, происходящими в живой природе. ГА это вычислительное представление естественного отбора, наблюдаемое в биологических популяциях (рис. 5).

По аналогии с природой, хромосома представляет собой характеристики модели, каждому параметру которой предназначен ген, и эти гены формируют хромосому. Известны несколько схем для кодирования параметров модели в хромосому. Нами была использована двоичная схема с кодированием по коду Грея. Случайно генерированная популяция решений обеспечивает стартовую точку для поиска искомого решения с использованием ГА.

Методологическую основу ГА составляет гипотеза селекции, которая состоит в том, что чем выше приспособленность особ, тем большая вероятность того, что в потомстве этой особи функция приспособленности будет принимать еще большее значение. Согласно гипотезе, выдвинутой Холландом (John Holland), удачные схемы решения задачи при скрещивании порождают новые схемы более высокого качества.

Хромосомы генерируются случайно путем последовательного заполнения разрядов (генов), сразу в бинарном виде, и всякие следующие изменения в популяции касаются сначала генетического уровня, а только потом анализируются фенотипические последствия этих изменений, но никогда не наоборот. В принципе, для декодирования генетической информации из бинарной формы к десятичному виду подходит любой бинарный код, но обычно исходят из того, что генетическая информация представлена в виде кода Грея.

Процедурно работу одной из версий ГА можно проиллюстрировать следующей схемой:

1. На первом этапе случайным образом генерируем начальную популяцию бинарных хромосом. Декодируем значение сменных с бинарного к действительному виду.

2. С помощью математической модели определяем значение функции приспособленности для каждого решения и в зависимости от него значения упорядочиваем популяцию.

3. Вычисляем среднее значение функции приспособленности за популяцией.

4. Опираясь на нее, назначаем вероятность, с которой каждая особь, значение функции приспособленности для которой выше среднего уровня, может стать отцом.

5. Для каждого отца есть две возможности: или быть просто скопированным в следующее поколение, или подвергнуть влиянию генетических операторов в процессе генерации хромосомы потомка.

6. Оцениваем значение функции приспособленности для потомка, и, действуя аналогичным образом, постепенно заполняем популяцию следующего поколения.

7. Через M шагов новое поколение будет сформировано.

Взросшие требования к структуре и параметрам космических систем ДЗЗ (КС ДЗЗ), а также к планированию режимов функционирования КС — составлению оптимальных планов-графиков ДЗЗ требуют применения автоматизации процесса проектирования. Последний включает структурный синтез, формирование математической модели КС, параметрический синтез, моделирование и оценку проектных решений требованиям технического задания.

Ниже, в качестве примера, приводятся постановка задачи и пути решения параметрического синтеза КС ДЗЗ выполненные в ЦАКИЗ ИГН НАН Украины на основе генетического метода [20].

Наиболее перспективными для автоматизации решения задач структурного, параметрического синтеза и оперативного составления планов-графиков ДЗЗ являются генетические методы. Среди различных методов решения комбинаторных и оптимизационных задач генетические методы относятся к классу эвристических мето-

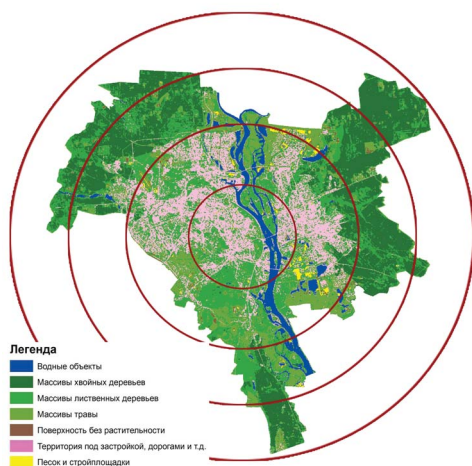


Рис. 4–1. Космический снимок Landsat 5 TM г. Киева за 2011 г.

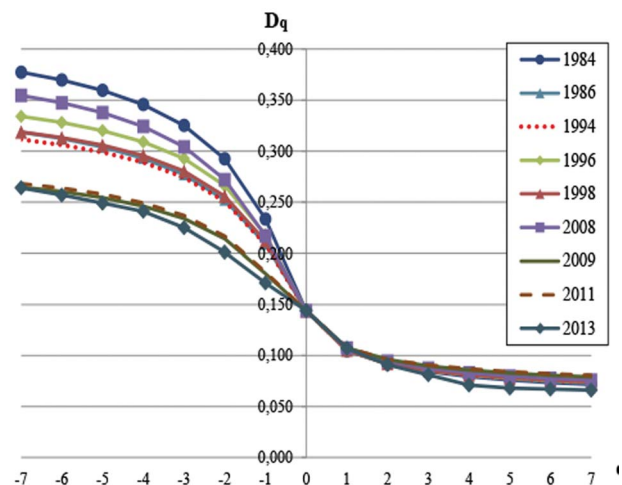


Рис. 4–2. Мультифрактальная модель распределения составляющих урбандошфта г. Киева по типам за период 1984–2013 гг.

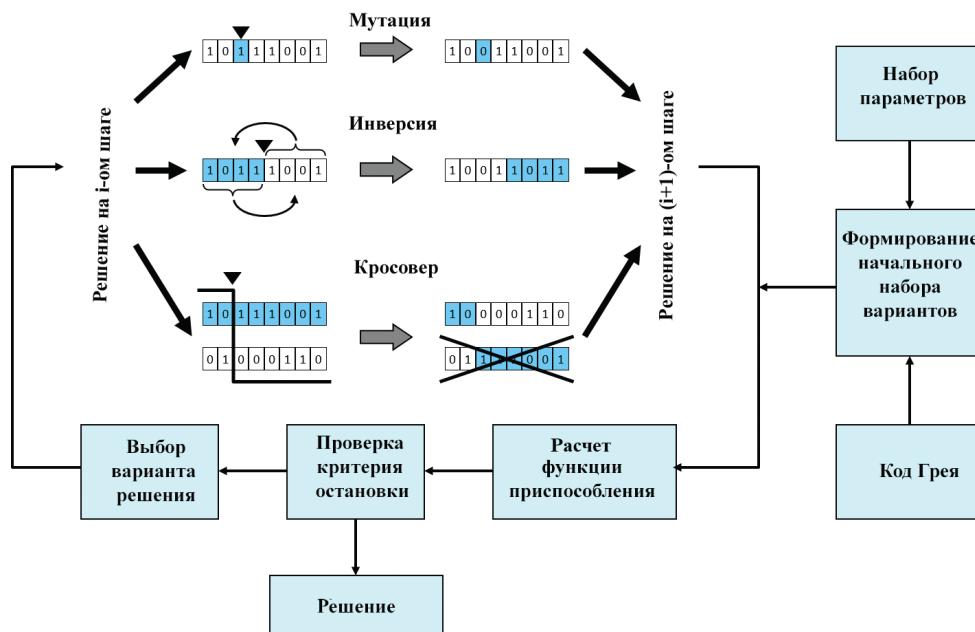


Рис. 5. Принципиальная схема генетического алгоритма

дов поиска квазиоптимальных решений. ГА — адаптивный поисковый алгоритм, основанный на эволюционных эмпирических факторах получения решения, что для рассматриваемого случая параметрического синтеза, сводится к нахождению оптимальных значений параметров КС ДЗЗ для решения всего множества планируемых тематических задач программы работ. Эволюционные факторы в ГА реализуются соответствующими вычислительными процедурами (операторами), которые обеспечивают адаптацию алгоритма к особенностям поискового пространства решений, что значительно сокращает количество вычислений за счет отсева неперспективных областей поиска.

Параметрический синтез КС ДЗЗ предусматривает формирование модели аддитивной ценности выполнения программы наблюдений Земли из космоса различным составом значений параметров КС, которые удобно представить в виде морфологического блока

$$\{b\} = \begin{bmatrix} b_{1\min(j)}, & b_{12}, & \dots, & b_{1r}, & \dots, & b_{1\max(j)} \\ \dots, & \dots, & \dots, & \dots, & \dots, & \dots \\ b_{j\min(j)}, & b_{j2}, & \dots, & b_{jr}, & \dots, & b_{j\max(j)} \\ \dots, & \dots, & \dots, & \dots, & \dots, & \dots \\ b_{m\min(m)}, & b_{m2}, & \dots, & b_{mr}, & \dots, & b_{m\max(m)} \end{bmatrix} \quad (12)$$

В морфологическом блоке (12) приняты следующие обозначения: $b_{j\min(j)}$ и $b_{j\max(j)}$ — минимальное и максимальное значения j -ого параметра КС, равные соответствующим минимальному и максимальному

значениям j -й характеристике тематических задач; b_{jr} — значение r -ого варианта j -го параметра КС; $r = \min(j), 2, 3, \dots, \max(j)$; $j = 1, 2, \dots, m$; m — количество параметров КС, равное числу различных характеристик, необходимых для обеспечения выполнения всех задач программы ДЗЗ.

В морфологическом блоке (12), составленном на основе анализа характеристик всех тематических задач программы, количество строк равно числу параметров КС, необходимых для решения всех задач, а элементами строк являются значения параметров, изменяющиеся в каждой строке от минимального до максимального значения. Решение тематических задач осуществляется на основе дешифрирования информативных признаков полученных от регистрации аппаратурой КС процессов и объектов Земли с использованием методик специальных для каждой задачи. Методики решения тематических задач предъявляют определенные требования к информации, подлежащей дешифрированию. Ниже, через a с индексами обозначаются численные значения требований к характеристикам космической информации, которые следуют из методик решения тематических задач. Эти характеристики обеспечиваются определенным составом и значениями параметров (обозначение b с индексами) подсистем КС ДЗЗ: визирования земной поверхности, регистрации информации ДЗЗ, передачи и приема информации, обработки информации и др. Для решения конкретной задачи идеальными параметрами КС ДЗЗ являются значения, полностью совпадающие с требованиями, обеспечивающими решение данной задачи. Однако в случае выполнения научно-прикладной программы, состоящей из различных тематических задач, эти значения параметров, вероятнее всего, не обеспечат необходимый уровень решения

всех задач. В этом случае параметры КС ДЗЗ определяются путем нахождения компромиссного варианта значений параметров, которые обеспечат выполнение всех тематических задач программы ДЗЗ с наибольшей эффективностью.

Необходимое повышение точности представления параметров КС неизбежно связано с увеличением потенциальных вариантов решения задачи оптимизации, число которых в задаче синтеза КС ДЗЗ может достичь чрезвычайно больших значений и при использовании метода прямого перебора становится непосильной задачей. Убедиться в этом можно при анализе формулы (13), по которой производится подсчет общего числа возможных вариантов состава параметров КС ДЗЗ

$$N = \prod_{j=1}^m \sum_{r=b_{j\min(j)}}^{b_{j\max(j)}} b_{jr} \quad (13)$$

Для решения задачи параметрического синтеза конструируется генетический метод, в основу которого заложен классический ГА.

Принято считать, что классический генетический алгоритм оперируют с хромосомами постоянной длины, состоящими из генов со значениями 0 или 1. Закодированная хромосома, в которой представлено множество потенциальных решений, называется генотипом. Генотип задает поисковое пространство решений. В теории естественной эволюции генотип — это программа развития эволюционирующей особи. Реализация особи (одного из возможных вариантов решения задачи) в виде хромосомы с конкретными значениями генов является фенотипом. В теории естественного отбора фенотип необходим для селекции и перехода на следующую ступень эволюции. Популяция — это репродукционная группа PP хромосом фиксированной численности, в которой любые две хромосомы $X_i, X_j \in PP, i \neq j$ могут выступить в роли родителей.

В задаче параметрического синтеза КС ДЗЗ не возникает проблем в представлении задачи, т. е. в кодировании множества потенциальных решений в виде хромосомы. Для этой задачи набор числовых или битовых параметров уже подразумевает определенное представление потенциальных решений в виде строки (хромосомы), к которой могут быть непосредственно применены операторы классического ГА с целью получения оптимальных решений. Каждый аппаратный параметр в этой задаче принадлежит множеству вещественных чисел и кодируется бинарным набором генов фиксированной длины. Каждый из m параметров КС ДЗЗ, представленный бинарным набором генов, всегда занимает фиксированный участок хромосомы. Так, например, если решению подлежит задача с b_m параметрами, каждый из которых кодируется 4 битами, то хромосома, представленная строкой длиной $4m$ битов, кодирует все возможные потенциальные решения

задачи. Пример такого кодирования (представления) задачи аппаратного синтеза в виде хромосомы длиной $4m$ генов для морфологического блока (12) приведен ниже.

$$\overbrace{10100011}^{b_{1r}} \overbrace{111110}^{b_{2r}} \overbrace{\dots 0110}^{b_{3r}} \overbrace{\dots 1010}^{b_{jr}} \overbrace{\dots 1010}^{b_{mr}}$$

В хромосоме с такой организацией в компактной форме представлено все множество потенциальных решений задачи параметрического синтеза и тем самым задано поисковое пространство задачи оптимизации. В соответствии с морфологическим блоком (12) в этом примере образовано m участков хромосомы, каждый из которых соответствует одному конкретному параметру КС. Каждый j параметр — это вещественное число, которое в хромосоме кодируется четырьмя бинарными генами и в соответствии с этим может принимать 16 вещественных значений $b_{jr} \in \{b_{j\min(j)=1}, b_{j2}, \dots, b_{j16=\max(j)}\}$.

Рассмотрим более подробно возможную схему кодирования потенциальных решений в задаче параметрического синтеза КС ДЗЗ. Следует отметить, что хотя в рассмотренном примере в хромосоме закодирован некоторый конкретный вариант состава значений параметров КС, однако выполнение процедуры кодирования в явном виде в ГА не предусмотрено. Хромосомы генерируются случайным образом для образования начальной популяции сразу в бинарном виде путем случайного заполнения разрядов (генов) нулями и единицами, например, с помощью генератора случайных чисел. Все последующие операторы ГА работают с кодом. На этапе селекции с образованием родительских пар происходит вычисление значений функции фитнеса для каждой X_i хромосомы: $FF(X_i)$. Эта операция требует декодирования хромосомы, т. е. перехода от бинарного кода параметров КС к их вещественным значениям. Операция декодирования также используется на завершающей стадии поиска, когда требуется “прочитать” оптимальный состав параметров КС ДЗЗ.

Таблица ГА позволяет декодировать параметры КС ДЗЗ которые представлены в хромосоме полубайтным кодом Грея. Где $b_{j\min(j)}$ — минимальное значение j -ого параметра, $b_{j\max(j)}$ — максимальное значение того же параметра КС ДЗЗ, b_j — искомое вещественное значение, соответствующее коду Грея в записи параметра в хромосоме; индекс r , соответствующий номеру отсчета, опущен.

Мутация хромосом для рассматриваемого ГА состоит в инвертировании символа в случайно выбираемом гене. Использование операторов мутации является эффективным средством для выхода из локального экстремума. Этот механизм может применяться как для популяции родителей, так и для потомков.

Селекция хромосом состоит в их отборе и формировании следующей популяции. Селек-

ция является случайным процессом, при котором руководствуются правилом: чем большее значение функции приспособленности имеет данная хромосома, тем выше вероятность ее выбора для репродукции. Самым простым и наиболее популярным методом селекции хромосом является метод рулетки, который состоит в следующем.

Суммируются значения функции FF всех хромосом и вычисленная сумма принимается за 100% (целое “колесо рулетки”); каждой хромосоме X_i приписывается отрезок колеса рулетки, который определяется из отношения

$$FF_r(X_i) = \frac{100 FF(X_i)}{\sum_{i=1}^N FF(X_i)} \quad (14)$$

Этот отрезок представляется в виде интервала (a, b) , где $0 \leq a, b \leq 100$ и служит мерой вероятности получения данной хромосомы в процессе жеребьевки. Генерируется число r из интервала $[0, 100]$, которое указывает конкретное место колеса рулетки. Процесс генерации повторяется N раз, где N — численность популяции. Каждое генерируемое число r , где $a \leq r \leq b$, определяет отрезок и тем самым назначает хромосому, которая дальше подвергается репродукции.

Механизм “останова” алгоритма определяется на этапе его проектирования с учетом естественных ограничений, связанных со временем счета на компьютере или с учетом числа популяций, при которых значение функции приспособленности перестает улучшаться. Полученная в результате n итераций хромосома с наибольшим значением функции приспособленности принимается как решение данной задачи. Однако нет гарантии, что это решение является наилучшим.

Одним из классических вариантов оператора скрещивания является предложенное Холландом одноточечное скрещивание (кроссовер). При одноточечном скрещивании случайным образом выбирается число $n \in \{1, 2, \dots, L-1\}$, где L — размер хромосомы, n — точка скрещивания. Затем образуются две новые дочерние хромосомы путем обмена всех генов между двумя родительскими хромосомами, начиная с $n+1$ до L включительно. Де Янг (De Jong K. A.) исследовал оператор многоточечного скрещивания, частным случаем которого является двухточечное скрещивание. Скрещивание двухточечное выполняется с помощью случайного выбора m -ого и n -ого места разрыва в двух родительских хромосомах, где $1 \leq j \leq m$, $n \leq j \leq L$ — длина хромосомы. Затем образуются две дочерние хромосомы путем обмена генами, расположенными на j -тых позициях, между двумя родительскими хромосомами, где $1 \leq j \leq m$, $n \leq j \leq L$. Использование в операторах скрещивания многих точек разрыва приводит к схеме многоточечного скрещивания.

Таблица ГА

Декодирование хромосомных кодов параметров КС ДЗЗ в вещественные числа

Хромосомный код.	Вещественные значения параметров
0000	$b_{j \min(j)}$
0001	$b_j = b_{j \min(j)} + 1(b_{j \max(j)} - b_{j \min(j)}) / 15$
0011	$b_j = b_{j \min(j)} + 2(b_{j \max(j)} - b_{j \min(j)}) / 15$
0010	$b_j = b_{j \min(j)} + 3(b_{j \max(j)} - b_{j \min(j)}) / 15$
0110	$b_j = b_{j \min(j)} + 4(b_{j \max(j)} - b_{j \min(j)}) / 15$
0111	$b_j = b_{j \min(j)} + 5(b_{j \max(j)} - b_{j \min(j)}) / 15$
0101	$b_j = b_{j \min(j)} + 6(b_{j \max(j)} - b_{j \min(j)}) / 15$
0100	$b_j = b_{j \min(j)} + 7(b_{j \max(j)} - b_{j \min(j)}) / 15$
1100	$b_j = b_{j \min(j)} + 8(b_{j \max(j)} - b_{j \min(j)}) / 15$
1101	$b_j = b_{j \min(j)} + 9(b_{j \max(j)} - b_{j \min(j)}) / 15$
1111	$b_j = b_{j \min(j)} + 10(b_{j \max(j)} - b_{j \min(j)}) / 15$
1110	$b_j = b_{j \min(j)} + 11(b_{j \max(j)} - b_{j \min(j)}) / 15$
1010	$b_j = b_{j \min(j)} + 12(b_{j \max(j)} - b_{j \min(j)}) / 15$
1011	$b_j = b_{j \min(j)} + 13(b_{j \max(j)} - b_{j \min(j)}) / 15$
1001	$b_j = b_{j \min(j)} + 14(b_{j \max(j)} - b_{j \min(j)}) / 15$
1000	$b_{j \max(j)}$

Рассмотренный генетический метод был опробован в тестовой задаче параметрического синтеза КС ДЗЗ с числом характеристик тематических задач, равным 20 (размерность пространства поиска) с равным числом интервалов разбиения каждой характеристики, равным 100, т. е. общее число потенциальных вариантов решения в соответствии с формулой (14) составило 100^{20} . Алгоритм реализован на объектно-ориентированном языке C++, эксперимент проводился на компьютере Pentium 4. Результаты вычислений близки к оптимальным значениям и были получены за приемлемое время вычислений.

6. Метод системной динамики [22] был предложен Дж. Форрестором для количественного анализа сложных систем, имеющих множественные внутренние связи между элементами (модулями) системы. Основным отличием метода является построение динамической модели объекта управления на основе экспертных данных и причинно-следственных отношениях между модулями в моделируемой системе.

Основным преимуществом метода является построение динамической модели объекта управления на основе экспертных данных о причинно-следственных отношениях в модельной системе и, на этой основе, широкая возможность моделирования процесса развития. Состояния, которые являются функциями времени, называются сценариями развития, а последовательное движение к поставленной цели — “устойчивым развитием”. Информация о том, насколько запланированный сценарий развития отличается от фактического, позволяет вводить исправление не только в систему управления, но и просматривать установленную раньше цель развития с точки зрения возможности ее практической реализации. В замкнутой системе большую роль играют обратные связи — процессы на выходе системы влияют на внутреннее состояние системы, влияя на ее вход.

Имитационное моделирование с моделями мировой динамики показало, что попытки решать проблемы ус-

тойчивого развития по отдельности, игнорируя их тесную взаимосвязь, обречены на провал и приводят к ошибочным результатам. Это было обусловлено тем, что использование только экспертных оценок не позволяет предусмотреть результаты нелинейных взаимодействий между элементами сложной системы, а также учесть эффекты запаздывания отдельных решений.

Соблюдая терминологию, которая была введена Дж. Форрестором, основные элементы модели — потоки материальной субстанции. Каждый поток проходит через некоторый уровень, меняя при этом свою скорость. Поэтому как основной элемент системы можно рассматривать уровень с входными в него и исходными из него потоками. Если увеличение уровня ведет к увеличению темпа потока, то такая обратная связь называется положительным, в другом случае имеет место отрицательная обратная связь.

Этот метод заключается в разработке концептуальной модели и формировании математической модели, которую составляют математические уравнения, описывающие баланс влияний в системе, основанный на причинно-следственных связей в системе. При этом решаются четыре типа задач: анализ и усвоение информации, прогноз и планирование. Задача усвоения информации позволяет оценить параметры модели и по данным наблюдений воспроизвести ее пространственно-временную структуру. Задачи прогноза имеют стандартное формулирование и схему реализации: по заданному значению входных параметров. С помощью моделей рассчитываются функции состояния, которые характеризуют поведение системы в пространстве и времени. Формально математическое описание динамики системных уровней сводится к связанной системе нелинейных дифференциальных уравнений первого порядка вида:

$$dx/dt = F(x(t), p(t), t), \longrightarrow x(t_0) = x_0 \quad (15)$$

где: $x(t)$ — вектор — функция уравнений (сменных состояний);

$p(t)$ — вектор — функция параметров системы;

$F(x(t), p(t), t)$ — нелинейная, в общем случае нестационарная вектор-функция, которая в подавляющем большинстве случаев представляет собой разницу между темпами (потоками, скоростями) положительных и отрицательных обратных связей

$$F(x(t), p(t), t) = f^+(x(t), p(t), t) - f^-(x(t), p(t), t) \quad (16)$$

где: $f^+(x(t), p(t), t)$ — скорости положительных обратных связей, которые включают в себя все факторы, которые вызывают рост переменной x ;

$f^-(x(t), p(t), t)$ — скорости негативных обратных связей, которые включают в себя все факторы, которые вызывают уменьшение переменной x .

Ниже, в качестве примера, приводятся результаты моделирования и прогноза состояния городс-

кой территории г. Киева (рис. 6) до 2025 года, выполненные в ЦАКИЗ на основе метода системной динамики — модифицированной модели Форрестера-Грехема [14].

На основе модифицированной модели системной динамики Форрестера-Грехема (рис. 6) путем ассимиляции космической информации ДЗЗ и формирования уравнения функции соответствия F было выполнено моделирование воздействия изменений разных составляющих урболандшафта и факторов на состояние городской среды и дана прогнозная оценка экологического состояния г. Киева до 2025 года (рис. 7). Из рисунка видно, что модель адекватно реагирует на изменение значений составляющих урболандшафта городской территории.

Для выяснения правильности построения структуры модели и уточнения взаимосвязей между ее подсистемами проводилась верификация модели. Для этого на модели воспроизводилась динамика составляющих урболандшафта и данных состояния окружающей среды г. Киева, которая потом сравнивалась с динамикой тех же сменных характеристик, взятых из Генплана и статистических отчетов.

Поскольку данные для расчетов методом МКО были получены на относительно ограниченном экспериментальном материале, для подтверждения наличия статистически значимой корреляционной зависимости между исследованными величинами необходимо показать, что значение коэффициентов корреляции R действительно не равняются нулю для $n = 18$, где n — количество лет. Учитывая то, что распределение R медленно сводится к нормальному, данную операцию было проведено с использованием функции $U = \frac{\sqrt{n-3}}{2} \cdot \ln \frac{1+R}{1-R}$ путем проверки гипотезы о равенстве нулю полученных коэффициентов корреляции R для определенного количества экспериментов. Отсутствие статистически значимой корреляционной зависимости оказывается в случае, когда значение функции U попадают в интервал $-Z_{\alpha/2} \leq U < Z_{\alpha/2}$, где $Z_{\alpha/2}$ — ограничение по площади гаусовского распределения за ординатами $\pm \alpha$. Значение U для 18 лет и $R = 0,83$ равняется 4,74. Границы зоны $-Z_{\alpha/2}$ и $Z_{\alpha/2}$ для функции U избрано при значениях $\alpha = 0,1$, что отвечает достоверности 0,83 и равняются соответственно — 1,69 и +1,69.

Таким образом, подтверждается наличие статистически значимой корреляционной зависимости и достоверности результатов исследований.

7. Метод адаптивного баланса влияний [17]. Метод системной динамики имеет ряд ограничений: отсутствуют общие алгоритмы нахождения функций, которые определяют влияние одних уровней на значение темпов потоков других уровней; не используются данные текущих наблюдений за процессами развития для введения исправлений в модельные сценарии развития и др.

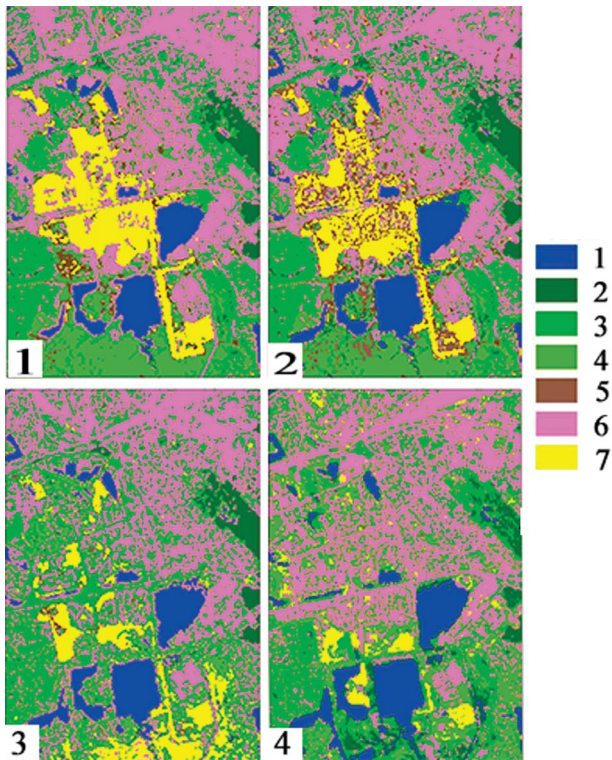


Рис. 6. Результаты дешифрирования космических снимков КА Landsat (карта распределения составляющих урбандиафра территории Киева за 1 — 1994 г.; 2 — 2000 г.; 3 — 2005 г.; 4 — 2013 г.). 1 — водные объекты; 2 — массивы хвойных деревьев; 3 — массивы лиственных деревьев; 4 — массивы травянистой растительности; 5 — поверхность без растительности; 6 — территория под застройкой, дорогами и т. д.; 7 — песок и стройплощадки

Для моделирования интегральных процессов в экосистеме и оценки ресурсного потенциала И. Тимченко и Е. Игумнова предложили метод адаптивного баланса влияний (АВС), который, используя основные принципы метода системной динамики, свободен от перечисленных ограничений.

АВС-метод позволяет моделировать и прогнозировать развитие сложных систем и выполнять вычислительные функции с учетом взаимодействия всех модулей, каждый из которых находится в состоянии динамического равновесия. Равновесие поддерживается функциями влияния, которые связывают данный модуль с другими модулями системы. Режим динамического баланса влияний внутри системы сохраняется под управлением внешнего влияния на систему.

В соответствии с методом АВС через каждый уровень X_i проходит поток соответствующей компоненты. Входной в уровень и исходный из него потоки регулируются цепями обратных связей через скорость потоков, которые примутся под влиянием функций внутренне-системных связей и внешнего влияния.

Основные положения АВС-метода состоят в следующем:

- структура сложной системы формируется из универсальных модулей и функций влияния, а также вспомогательных элементов;

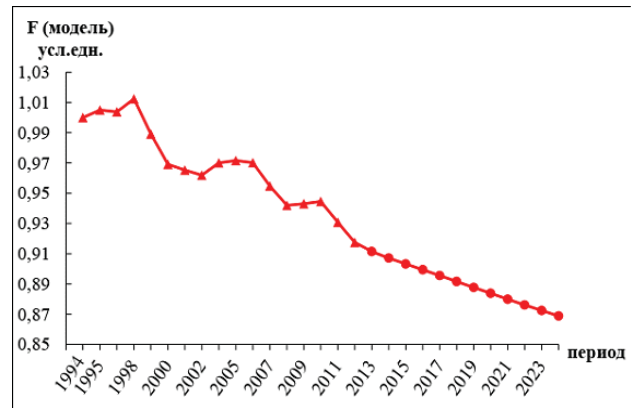


Рис. 7. Результаты моделирования и прогноза экологического состояния территории г. Киева до 2025 г.

- управляемая система и ее отдельные модули находятся в состоянии динамического баланса, поддерживаемого внешними влияниями на систему;
- сравнение модельных и фактических сценариев развития за некоторый период времени позволяет ввести статистику отклонений, то есть оценить качество управления;
- данные наблюдений усваиваются в численном алгоритме расчетов прогностических сценариев и обеспечивают адаптацию модельных сценариев к реальности.

Методика состоит в разработке концептуальной модели и формировании схемы причинно-следственных связей между элементами системы, на основании которой создается системная диаграмма модели. Причинно-следственные связи в модели изображаются с помощью функций влияния через соответствующие потоки, которые обеспечивают взаимное влияние компонентов вектора состояния системы (модулей X_i) и динамическое равновесие системы. Формализация модели состоит в получении математических уравнений, которые выражают адаптивный баланс влияний внутри системы.

Основные уравнения метода выражают баланс значений процесса (x), обусловленных влиянием на него других процессов:

$$dx_i / dt = [1 - 2F^{(+)}(a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 + \dots + a_{in}x_n + x_i)] \quad (17)$$

где a_{is} — коэффициенты уравнений модели (далее коэффициенты), которые учитывают влияние составляющей s на составляющую i и сохраняют постоянное значение в выбранном интервале времени.

Уравнение (17) становится наиболее простым в случае выбора базовой функции влияния $F^{(+)}$ в форме параболы, которая асимптотически приближается к единице. При этом уравнение становится линейным и приобретает вид

$$\frac{dx_i}{dt} = a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 + \dots + a_{i,i-1}x_{i,i-1} + a_{i,i+1}x_{i+1} + \dots + a_{in}x_n - x_i, \quad (18)$$

где t — временной или пространственный аргумент процесса.

Коэффициенты влияния a_{ij} в уравнении модели могут быть идентифицированы двумя основными путями: по оценкам экспертов и на основе статистической обработки архивных данных.

Ниже, в качестве примера, приводятся результаты моделирования изменений экологического состояния городской территории от изменений площадей, занятых: зеленой зоной, водоемами, жилой застройкой и промобъектами [15].

На основе анализа космических изображений г. Киева за период 1994–2011 гг. были получены основные составляющие урболандшафта (зеленая зона (А), водные объекты (В), застройка (С) и техногенная нагрузка (Т)).

Результаты вычисления площадей составляющих урболандшафта (км^2), значений комплексного индекса загрязнения атмосферы К в условных единицах, численных оценок экологического состояния Е в относительных единицах и техногенная нагрузка (м/гм^3) приведены в табл. 1.

Системное моделирование и прогнозная оценка развития экологического состояния городской территории под влиянием изменений составляющих урболандшафту выполнялись на основе уравнений (18).

Если принять, что каждая из составляющих может быть выражена линейной комбинацией остальных составляющих, то можно составить математическую модель взаимосвязи составляющих урболандшафта (19):

$$\begin{aligned} \frac{dE}{dt} &= a_{EC}C + a_{ET}T + a_{EA}A + a_{EB}B - E, \\ \frac{dC}{dt} &= a_{CT}T + a_{CA}A + a_{CB}B + a_{CE}E - C, \\ \frac{dT}{dt} &= a_{TA}A + a_{TB}B + a_{TE}E + a_{TC}C - T, \\ \frac{dA}{dt} &= a_{AB}B + a_{AE}E + a_{AC}C + a_{AT}T - A, \\ \frac{dB}{dt} &= a_{BE}E + a_{BC}C + a_{BT}T + a_{BA}A - B, \end{aligned} \quad (19)$$

Для моделирования и оценки экологического состояния необходимо знать значения коэффициентов a_{ij} . Определение их является важным этапом формирования модели. От того, насколько правильно определены значения коэффициентов, зависит качество пр. ными предыдущих исследований, можно дать оценку коэффициентов на основе статистических данных. С этой целью используются элементы корреляционной матрицы исследуемых составляющих, которая позволяет исключить определение коэффициентов эвристически. Кроме того, упрощается построение уравнений модели, которые в этом случае имеют унифицированную форму. В соответствии с этим состояние баланса составляющих в системе (5) может быть использовано для определения самих коэффициентов влияния.

Приравнивая к нулю правые части уравнений системы (19), сформированной на основе уравнения (18), получаем систему однородных линейных уравнений (20).

$$\begin{aligned} a_{EC}C + a_{ET}T + a_{EA}A + a_{EB}B &= E, \\ a_{CT}T + a_{CA}A + a_{CB}B + a_{CE}E &= C, \\ a_{TA}A + a_{TB}B + a_{TE}E + a_{TC}C &= T, \\ a_{AB}B + a_{AE}E + a_{AC}C + a_{AT}T &= A, \\ a_{BE}E + a_{BC}C + a_{BT}T + a_{BA}A &= B. \end{aligned} \quad (20)$$

Поскольку составляющие урболандшафтов формируются в условиях городских территорий, их значения должны быть согласованы между собой, а именно из уравнений (20) в результате преобразований были получены системы уравнений для нахождения неизвестных коэффициентов a_{ij} . Ниже, в качестве примера, приведены уравнения для нахождения коэффициентов влияния $a_{EC}, a_{ET}, a_{EA}, a_{EB}$.

$$\begin{aligned} a_{EC} + r_{CT}a_{ET} + r_{CA}a_{EA} + r_{CB}a_{EB} &= r_{EC}, \\ r_{TC}a_{EC} + a_{ET} + r_{TA}a_{EA} + r_{TB}a_{EB} &= r_{ET}, \\ r_{AC}a_{EC} + r_{AT}a_{ET} + a_{EA} + r_{AB}a_{EB} &= r_{EA}, \\ r_{BC}a_{EC} + r_{BT}a_{ET} + r_{BA}a_{EA} + a_{EB} &= r_{EB}. \end{aligned} \quad (21)$$

Аналогично могут быть получены системы уравнений для процессов C, T, A, B , которые используются при нахождении соответствующих коэффициентов a_{ik} . Необходимые для этой цели коэффициенты корреляции находятся в соответствующих строках корреляционной матрицы. Для нахождения коэффициентов достаточно воспользоваться формулами Крамера.

Таким образом, после определения всех значений коэффициентов появляется возможность на основе первого уравнения системы (19) выполнить моделирование влияния составляющих урболандшафта на экологическое состояние городской среды.

Из графиков (рис. 8) видно, что модель адекватно реагирует на смену составляющих урболандшафта. Так, увеличение площадей зеленой зоны приводит к значительному улучшению экологического состояния территории города Киева, а повышение техногенной нагрузки вызывает ухудшение, рост площадей застройки и водоемов незначительно влияет на экологическое состояние городской территории.

Сформированные модифицированные модели дают возможность моделировать и прогнозировать, исходя из реальных условий, изменение состояния окружающей среды городских территорий под влиянием составляющих урболандшафта и разных факторов, что позволяет соответствующим службам города своевременно реагировать на возможные следствия.

Моделирование выполнялось путем выявления влияния на экологическое состояние города постепенного изменения каждой составной урболандшафта (зеленой зоны, водоемов, застройки и техногенной нагрузки) на 10% от номинального значения 1994 г.

Таблица 1

Результаты вычисления по годам составляющих: А, В, С, Т и К, Е

	К (усл. ед)	Е (усл. ед)	А (км ²)	В (км ²)	С (км ²)	Т (мг/м ³)
1994	9.8	0.102	602.2	48.3	174.4	1.72
1995	9.95	0.101	601.8	48	177.6	1.68
1996	10	0.099	601.4	48.4	177.9	1.74
1998	10.25	0.097	600.7	47.2	178.4	2.1
1999	11	0.092	600.3	47.8	178.1	2.05
2000	11.02	0.090	598.6	48.4	175.4	2.13
2001	13.58	0.074	592.6	46.9	179.1	2.1
2002	14.3	0.069	591.2	45.2	182.7	2
2004	14.96	0.067	584.7	45.8	190.9	2.32
2005	15.06	0.066	585.1	45.6	190.1	2.4
2006	15.4	0.065	585.3	45.6	192.5	2.59
2007	15.68	0.064	584.5	45.7	194.9	2.6
2008	15.96	0.062	573.7	45.9	202.9	2.81
2009	17.98	0.056	568.6	46.4	210.9	3.0
2010	18.32	0.055	568.2	45.6	211.8	2.95
2011	18.5	0.054	567.8	45.6	217.6	3.18

8. Метод множественной регрессии [4]. Множественная линейная регрессионная модель зависимости процесса u от влияющих факторных переменных $x_1, x_2, \dots, x_k$, имеет вид:

$$u = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots + b_k x_k \quad (22)$$

Для оценки неизвестных коэффициентов b_j берутся архивные данные n значений процесса $u_1, u_2, \dots, u_n$ и k влияющих факторов $x_1, x_2, \dots, x_k$.

В матричной форме модель имеет вид:

$$U = X \cdot B,$$

$$\text{где } U = \begin{pmatrix} u_1 \\ u_2 \\ \dots \\ u_n \end{pmatrix}, X = \begin{pmatrix} 1 & x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1k} \\ 1 & x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{nk} \end{pmatrix}, B = \begin{pmatrix} b_0 \\ b_1 \\ \dots \\ b_k \end{pmatrix} \quad (23)$$

где U — вектор-столбец фактических значений зависимой переменной размерности n ; X — матрица значений влияющих сменных (размерности $n(k+1)$); B — вектор-столбец коэффициентов параметров, которые подлежат оценке, размерности $(k+1)$.

Оценки коэффициентов находятся методом наименьших квадратов по значениям соответствующих факторов из выражения:

$$B = (X^T X)^{-1} (X^T Y) \quad (24)$$

Ниже, в качестве примера, приводятся результаты прогнозной оценки урожайности озимой пшеницы в районах Киевской области, выполненные в ЦАКИЗ на основе множественной регрессии, которая описывает взаимосвязь признаков-факторов: температуры, осадков и измерений NDVI — Normalized Difference Vegetation Index — нормализованный относительный индекс растительности (качественный показатель количества биомассы) [21].

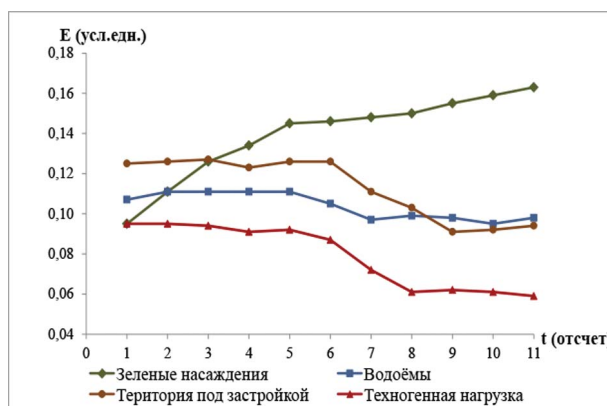


Рис. 8. Результаты моделирования изменений экологического состояния зависимости от изменения площадей зеленой зоны, водоемов, застройки и техногенной нагрузки

Исследования выполнялись на основе данных об урожайности озимой пшеницы и метеоусловий в Барышевском, Белоцерковском, Мироновском и Яготинском районах Киевской области за 1992–2002 гг. (рис. 9).

Для определения зависимости урожайности от декадных значений NDVI, температуры и осадков за период от посева до времени прогноза, за исключением зимних месяцев, использовалось уравнение (22).

В соответствии с процедурой регрессионного анализа определим урожайность озимой пшеницы по району как результативный признак, а среднюю температуру воздуха и сумму осадков за декаду как факторные признаки. Для упрощения восприятия расчетов и всего исследования введем в обозначение индекс месяца и декады месяца:

- u — результативный признак представляет собой урожайность озимой пшеницы (центнеры с гектара) за 1992–2002 гг. Факторные признаки (t, d) :
- t_{091} — последовательность измерений средней температуры воздуха (градусы Цельсия) за первую декаду сентября на протяжении 1992–2001 гг. в Барышевском, Белоцерковском, Мироновском и Яготинском районах;
- d_{091} — сумма осадков (мм) за первую декаду сен-

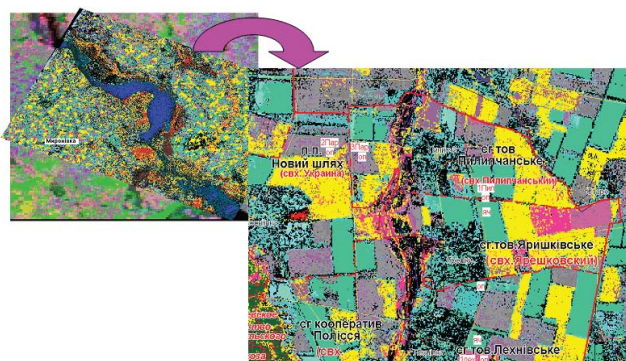


Рис. 9. Фрагмент класифіцированого знімка Landsat (18.05.2001), совмещенного со схемою землекористування Баршчевського району Київської області

тября на протязі 1992–2001 гг. в Баршчевському, Белоцерковському, Мироновському і Яготинському районах;

- t_{092} — послідовність вимірювань середньої температури повітря за другу декаду вересня на протязі 1992–2001 гг. в Баршчевському, Белоцерковському, Мироновському і Яготинському районах;
- d_{092} — сума опадів (мм) за другу декаду вересня на протязі 1992–2001 гг. в Баршчевському, Белоцерковському, Мироновському і Яготинському районах;
- t_{072} — послідовність вимірювань середньої температури повітря за третю декаду липня на протязі 1993–2002 гг. в Баршчевському, Белоцерковському, Мироновському і Яготинському районах;
- d_{072} — сума опадів за третю декаду липня на протязі 1992–2001 гг. в Баршчевському, Белоцерковському, Мироновському і Яготинському районах;
- t_{073} — послідовність вимірювань середньої температури повітря за третю декаду липня на протязі 1993–2002 гг. в Баршчевському, Белоцерковському, Мироновському і Яготинському районах;
- t_{073} — сума опадів за третю декаду липня на протязі 1992–2001 гг. в Баршчевському, Мироновському і Яготинському районах.

Дані урожайності як результативного признака представлені в табл. 2, подекадні значення середніх температур повітря і сумарних опадів вказаних районах в 1992–2002 гг., ввиду великого обсягу не приведені.

Для прогнозування урожайності в произвольний момент часу між посівом і збиранням урожаю необхідно мати рівняння, виражає залежність урожайності від декадних значень тем-

ператури і опадів за період від посіву до часу прогнозу за виключенням зимових місяців. Наприклад, прогноз на початок травня повинен враховувати температуру і опади після посіву для всіх декад до кінця квітня.

Для спрощення виду математических викладок змінимо позначення факторних признаків $t_{091}, d_{091}, \dots, d_{073}$ на $x_1, x_2, \dots, x_k$.

Процедура реалізації описаного методу прогнозування урожайності складається з двох етапів. На першому етапі проводиться обчислення коефіцієнтів рівняння регресії по архівним даним урожайності і опадів, отриманим в попередні роки з періодичністю, вказаною вище. На другому етапі в рівняння з отриманими коефіцієнтами вводяться значення опадів і температури, в передшествуючі місяці вегетації прогнозованого року і обчислюється прогнозоване значення урожайності. Програмна реалізація виконана на мові Python (<http://www.python.org>) з використанням бібліотеки scipy (<http://www.scipy.org>).

Коефіцієнти моделі були отримані в відповідності з виразом (24) і частково представлені в табл. 3.

Коефіцієнти регресії визначалися по даним 1992–2000 г. вказаних вище районів Київської області. Для цих же років за допомогою отриманої моделі було виконано прогнозування середньорайонної урожайності по станом на травень місяць. Значення для рівняння регресії вибирається в залежності від дати, на яку необхідно отримати прогноз урожайності. Наприклад, в рівняння прогнозу на початок травня повинні входити коефіцієнти, враховуючі всі передшествуючі місяці вегетації озимої пшениці. Процентні відхилення величини прогнозу від фактичного рівня урожайності приведені на рис. 10. Найбільша помилка була отримана для 1993 і 1999 років, коли в результаті складових погодних умов відзначалися найбільш відмінні урожаї озимої пшениці. В частності, в 1993 році був вирощаний один з найвищих урожаїв зерна (www.ukrstat.gov.ua). В 1999 році, навпаки, в зв'язі з раннім весняним потеплінням, змінивсь тривалими травневими заморозками, а потім і посухою з кінця травня до середини липня був зафіксований значительний недобір урожаю. Решта помилки коливаються в невеликому інтервалі значень 5–15 % і відповідають природним коливанням урожаю поблизу лінії

Таблиця 2

Урожайність u озимої пшениці в районах Київської області, ц/га

Район \ Год	1992	1993	1994	1995	1996	1998	1999	2000	2002
Баршчевський	26.32	34.89	25.20	25.67	21.95	21.95	18.01	24.4	29.8
Белоцерковський	34.12	41.63	33.35	29.62	29.33	32.2	25.08	37.9	41.5
Мироновський	37.66	46.06	39.53	32.49	28.33	30.19	21.62	31.8	-
Яготинський	24.92	22.33	17.0	18.05	14.19	13.66	11.0	17.05	17.2

Таблица 3

Коэффициенты уравнения множественной регрессии

k=1. t_{091}	k=2. d_{091}	k=3. t_{072}	...
b0	6.36	b0	6.95
b1	1.24	b1	1.11
		b2	0.04
		b3	0.25

тренда средней урожайности.

Для 2002 г. выполнено прогнозирование для всех декад от посева до уборки урожая, динамика изменения процентной ошибки прогноза от посева до

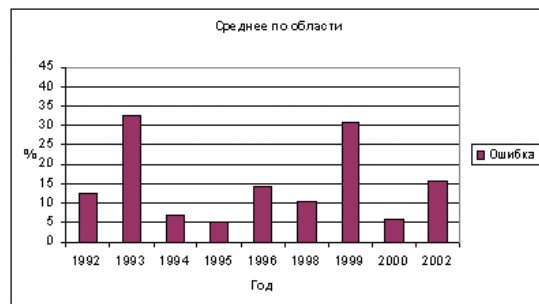


Рис. 10. Ошибка прогнозирования средней урожайности озимой пшеницы по годам по состоянию на май-месяц для Киевской области

уборки урожая показана на рис. 11. Кривая ошибки имеет падающий характер, что объясняется добавлением новых метеоданных, с начала мая происходит незначительное повышение точности прогноза до минимальной ошибки 11%.

Выводы

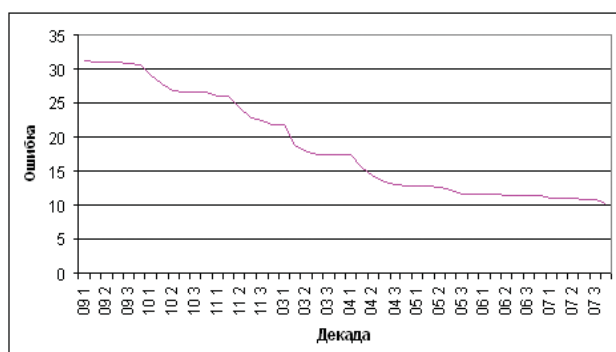


Рис. 11. Ошибка (%) прогнозирования среднерайонной урожайности озимой пшеницы в Киевской области по декадам сезона 2001–2002 г.

Получены уравнения, связывающие урожайность озимой пшеницы со значениями температуры и осадков в форме множественной регрессии с коэффициентами, вычисленными по архивным данным урожайности, осадков и температуры.

Проверка метода показала возможность прогнозирования с точностью, которая в рамках проведенного эксперимента не ниже традиционных прогнозов.

9. Метод спектральной автокорреляции [5] основан на статистической взаимосвязи между

значениями спектральных интервалов одной и той же спектрограммы, взятыми со сдвигом по длине волны.

Если рассматривать спектрограмму как реализацию процесса с неизвестными характеристиками вдоль оси длин волн спектра излучения, то для определения информативности спектральных диапазонов целесообразно применить автокорреляционную функцию, которая является корреляционным моментом второго порядка одного процесса.

Если анализируемая спектрограмма $\Phi(\lambda)$ задана конечным набором действительных значений $\Phi m^0 = \Phi(\lambda_m)$ на равномерной сетке $\lambda_m = \Delta \lambda_m$, $m^0 = 0, 1, \dots, M-1$, то автокорреляция $Rn^{00}(n = 0, 1, \dots, N)$ этой спектрограммы определяется согласно выражению [9]:

$$R = R(\Delta \lambda \cdot n) = E\{[\Phi_m - \overline{\Phi_m}][\Phi_{m+n} - \overline{\Phi_{m+n}}]\} / D \quad (25)$$

Функцию $R(\Delta \lambda \cdot n)$ будем называть спектральной автокорреляцией.

Ниже, в качестве примера, приводятся результаты исследования нефтегазоносности на участке Восточно-Рогинцевского нефтяного месторождения ДДВ, выполненные в ЦАКИЗ на основе метода спектральной автокорреляции [23].

На участке с однородной растительностью была проложена трасса длиной 1100 м, вдоль которой через каждые 30–35 метров производились измерения отражательных характеристик листьев березы. На рис. 12 приведен фрагмент космического снимка Landsat 7, на котором отмечены начало и конец исследуемой трассы в точках А и В соответственно. Всего было обследовано 35 точек–участков трассы, спектрофотометрирование выполнялось спектро-

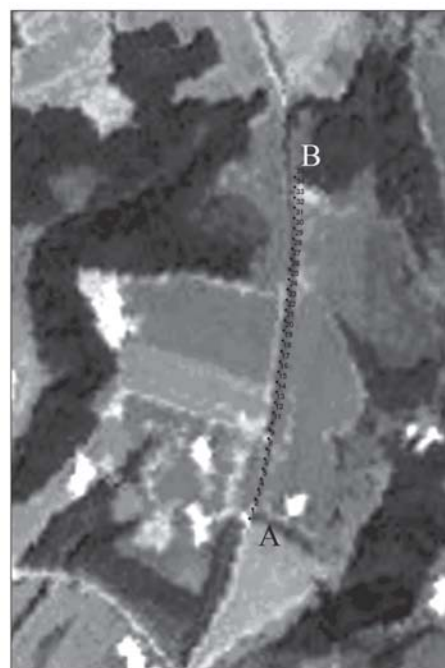


Рис. 12. Фрагмент космического снимка Landsat 7, Начало трассы — А и ее конец — В

фотометром СФ-18 с разрешением по спектру 2 нм в диапазоне 400–750 нм.

Автокорреляции вычислялись для спектрограмм на нефтегазоносных участках и на территориях без месторождений углеводородов, на первых они обозначены R_n^s и на вторых R_n^f . Предельная автокорреляция R_n^p определялась согласно выражению

$$R_n^p = \frac{1}{2}(R_n^s + R_n^f) \quad (26)$$

Оценка принадлежности вычисленной автокорреляции к нефтегазоносному участку определялась по суммарному отклонению от предельной

$$G = \sum_{n=0}^N (R_n - R_n^p) \quad (27)$$

Классификация производилась по правилу:

Если $G < 0$, то участок классифицируется, как нефтеперспективный и если $G \geq 0$, то исследуемый участок бесперспективный.

Результаты классификации профиля снятия спектрограмм представлены на рис. 13.

Выполненный эксперимент позволяет выработать рекомендации к космической гиперспектральной информации и обосновать выбор информативных спектральных признаков при проведении космического мониторинга земной поверхности в интересах решения задач природопользования и экологии.

10. Метод структурно-текстурного анализа (СТА) для описания объектов на аэрокосмических снимках на основе закономерностей природной структуры и территориальной сопряженности элементов ландшафта. При этом используются признаки, чувствительные к структуре и текстуре, и инвариантные к шумам, вносимым погодными условиями, вегетационным состоянием растительности и, конечно, регистрирующей аппаратурой. В основе текстурных признаков лежит понятие текстуры — важнейшей характеристики зрительных моделей изображений [2]. Для

анализа текстур используются обычно статистические и структурные методы. Одним из информативных признаков СТА является пространственно-частотный спектр (ПЧС) [24]. Для построения пространственных спектральных признаков используют ортогональные преобразования Фурье, Адамара, Уолша и др. При помощи спектральных плотностей выявляют “скрытую периодичность” текстур и определяют набор наиболее значимых спектральных составляющих — спектральный вектор-признак текстуры. Вычисление коэффициентов Фурье-спектров производится по методу дискретного двумерного преобразования Фурье [11].

Изменению яркости и координат точек в изображении в терминах спектрального анализа соответствует изменение амплитуды и фазы по пространственным частотам. Изображению, имеющему определенную структуру, соответствует спектр, характеризующийся суммой пространственных составляющих (гармоник) с соответствующими амплитудами и фазовыми сдвигами между этими составляющими. Значения амплитуд обуславливают взнос соответствующих пространственных частот в формирование изображения, а значения фазовых сдвигов обуславливают изменение координат отдельных точек в изображении относительно их положения в объекте. Так, например, с помощью дискретного двумерного преобразования Фурье для определения направления линейных элементов изображения производится вычисление нормированной азимутальной спектральной плотности энергетического спектра в зависимости от углового направления. Преобразование Фурье осуществляет переход от пространственного распределения плотности фототона на снимке к его распределению по пространственным частотам. При этом в результате обработки космических снимков визуально наблюдаются фрагменты, которые не обнаруживались до обработки

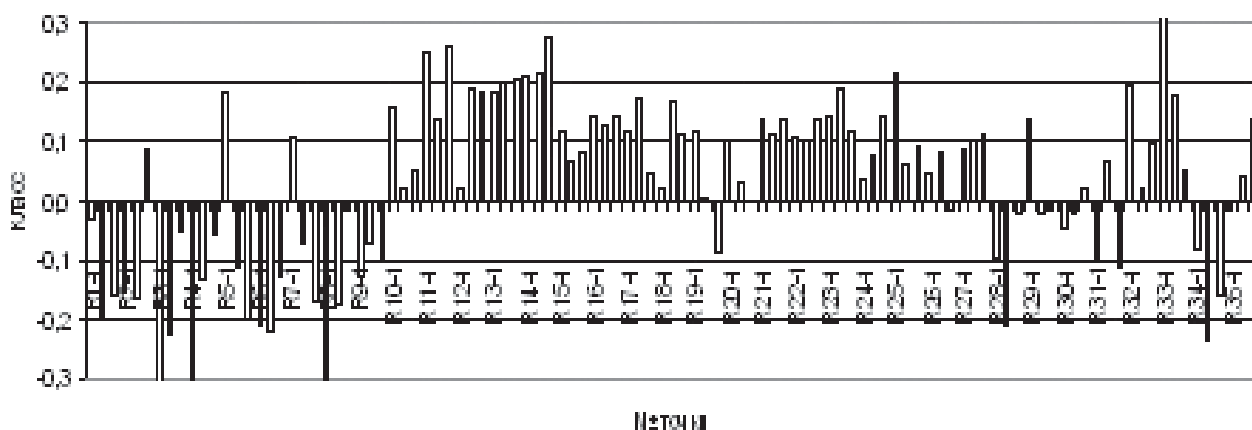


Рис. 13. Результаты классификации на нефтегазоносность, ниже нулевого уровня находятся нефтегазоносные участки, выше — бесперспективные

При дешифрировании космических изображений ландшафтных зон по структурно-текстурным признакам изображения довольно точно аппроксимируются экспонентными функциями. Это позволяет, как стохастическую модель изображений использовать случайный двухмерный марковский процесс [16]. Математической формой описания марковской модели изображения является матрица смежных вероятностей (МСВ) значений яркости космического снимка. Учитывая то, что яркость изображения обычно передается 8-ми разрядным кодом, для 256 градаций яркости МСВ такого процесса имеет размер 256×256 элементов. Обычно используемая статистика МСВ включает вычисление параметров Харалика: среднее, дисперсию, энтропию, локальную однородность, корреляцию, инерцию, кластерный оттенок и кластерный выступ.

Ниже, в качестве примера, приводятся результаты исследований тектонических структур фрагмента изображения Эль-Фуджейры, выполненные в ЦАКИЗ для оценки нефтегазоперспективности участков территории на основе космической информации ДЗЗ [1].

Рассматриваемый метод был применен для количественного анализа расчлененности рельефа, рисунка горных хребтов, кольцевых структур, линеаментов и других признаков тектонических структур фрагмента изображения Эль-Фуджейры (координаты центров изображения $25,56^\circ$ СШ, $56,10^\circ$ ВД, $25,45^\circ$ СШ, $56,22^\circ$ ВД).

На рис. 14 изображен график азимутальной спектральной плотности линейных структур космического снимка. Кроме непосредственного определения направления линеаментов, возможно измерение соотношений плотности линиментов по различным направлениям путем подсчета числа ординат, взятых

с определенным шагом в локальных зонах.

Анализ результатов эксперимента показывает, что на изображениях, полученных в результате обработки космических снимков методом структурно-текстурного анализа, визуально наблюдаются объекты, которые не проявлялись на космических снимках до обработки. Такой анализ космоснимков станет дополнительным информативным признаком для выделения нефтегазоперспективных объектов (рис. 15).

В заключение отметим, что рассмотренные методы далеко не исчерпывают возможности системного анализа и представляют только ту часть его математического арсенала, которая освоена в отделе системного анализа ЦАКИЗ для решения конкретных тематических задач природопользования и экологии на основе материалов аэрокосмической съемки. В перспективе предполагается освоение и расширение методической базы для использования космической информации ДЗЗ при решении различных тематических задач методами системного анализа.

Литература

1. Боднар О. М. Системний підхід до оцінки нафтогазоперспективності територій для наступної геофізичної розвідки / О. М. Боднар, З. В. Козлов, В. Г. Якимчук, О. Д. Федоровський // Доповіді Національної академії наук України. — 2006. — № 8. — С. 127 — 132.
2. Викторов А. С. Рисунок ландшафта / А. С. Викторов. — М.: Мысль, 1986. — 180 с.
3. Даргейко Л. Ф. Оценка нефтегазо-перспективности участков территории методом пространственной интерполяции Колмогорова / Л. Ф. Даргейко, А. Д. Федоровский, А. Е. Лукин, А. Ю. Порушкевич // Доповіді На-

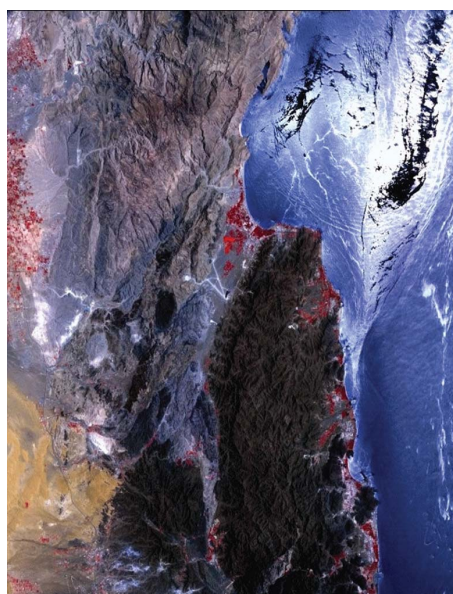
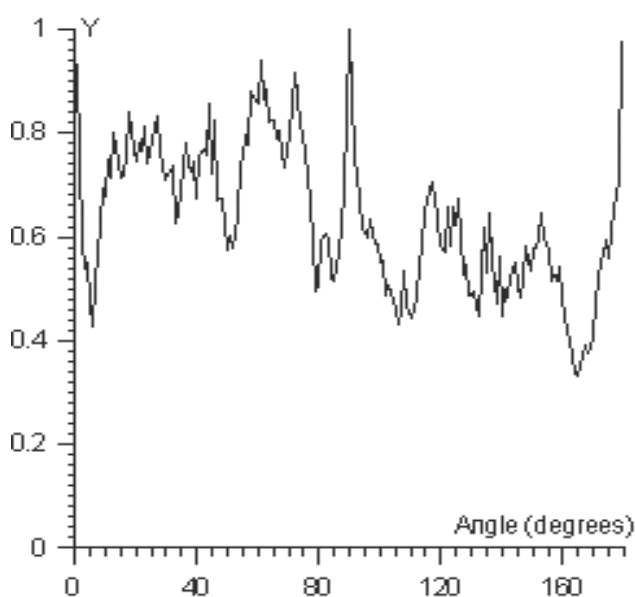
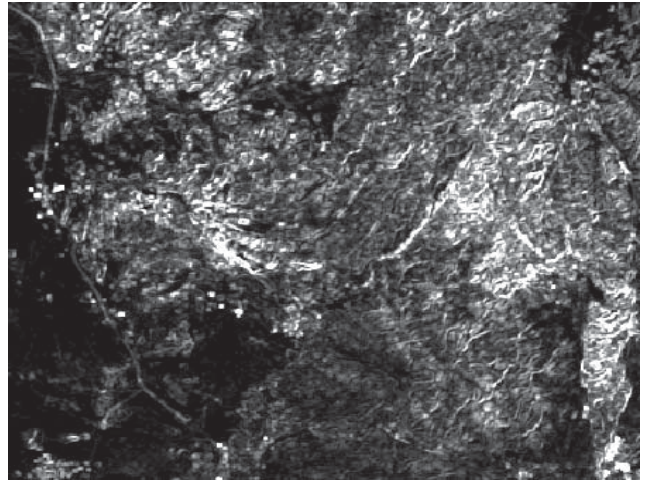


Рис. 14. График азимутального распределения ПЧС плотности изображения фрагмента космического снимка Aster от 05.10.2004 г. На горизонтальной оси (Y) отложены азимутальные углы, на вертикальной (Angle) — относительное значение энергии ПЧС по направлениям



Фрагмент космического снимка Aster



Contrast

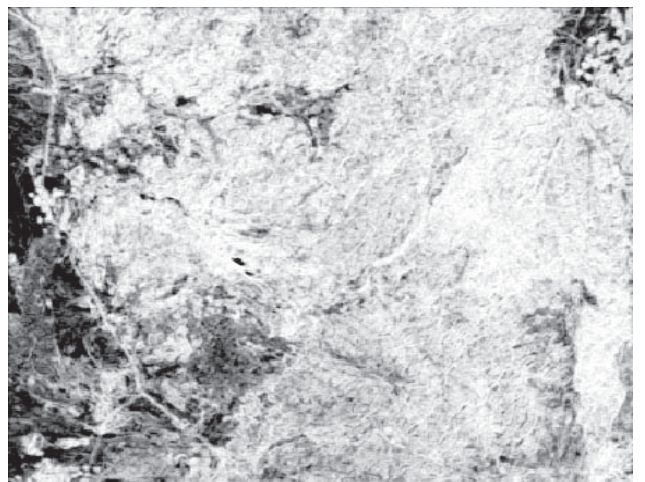
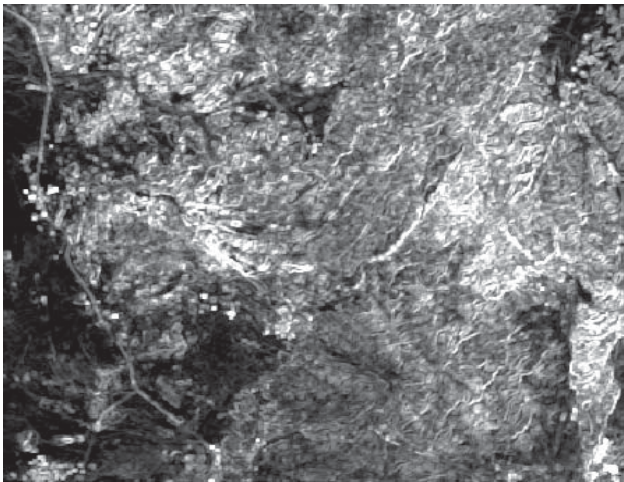


Рис. 15. Фрагмент космического снимка Эль-Фуджейры, сенсор ASTER и параметры Харалика: Contrast, Dispersion, Entropy.

- ціональної академії наук України. — 2011. — № 10. — С. 100–103.
4. Н. Дрейпер. Прикладной регрессионный анализ. Множественная регрессия / Норман Дрейпер, Гарри Смит / Applied Regression Analysis — 3-е изд. — М.: “Диалектика”, 2007. — С. 912.
 5. Кендал М. Многомерный статистический анализ и временные ряды / М. Кендал, А. Стьюарт // М.: Наука, 1976. — 736 с.
 6. Колмогоров А. Н. Локальная структура турбулентности в несжимаемой вязкой жидкости при очень больших числах Рейнольдса / А. Н. Колмогоров // Доклады академии наук СССР. — Том 30. — №4. — 1941. — С. 299–305.
 7. Лялько В. И., Федоровский А. Д., Попов М. А. [и др.] / В. И. Лялько, А. Д. Федоровский, М. А. Попов. Использование данных спутниковой съемки для изучения природоресурсных проблем // Космічні дослідження в Україні 2002–2004. — Київ. — 2004. — С. 7–14.
 8. Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы / Б. Мандельброт. — М.—Ижевск, 2010.
 9. Моисеев Н. Н. Математические задачи системного анализа. — М.: Наука, 1981. — 487 с.
 10. Норенков И. П. Генетические методы структурного синтеза проектных решений / И. П. Норенков // Информационные технологии, 1998. — №1. — С. 9–13.
 11. Рабинер Л. Теория и применение цифровой обработки сигналов / Л. Рабинер, Б. Гоулд. — М.: 1978.
 12. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Т. Саати. — М.: Радио и связь, 1993. — 278 с.
 13. Соколовська А. В. Мультифрактальний аналіз варіабельності структури складових міських територій на основі космічної інформації ДЗЗ (на прикладі міста Києва за 1986–2011 рр.) / А. В. Соколовська // Доповіді Національної академії наук України. — 2013. — №12. — С. 187–194.
 14. Соколовська А. В. Системне моделювання і прогноз стану довкілля міста Києва на основі статистичних даних космічного геомоніторингу і наземних спостережень / А. В. Соколовська, О. В. Нікітенко, О. Д. Федоровський // Системні дослідження та інформаційні технології, “Інститут прикладного системного аналізу” НТУУ “КПІ” МОН та НАН України. — 2013 (в друці).
 15. Соколовська А. В. Використання космічної інформації ДЗЗ для моделювання впливу складових урбанландшафту на екологічний стан території міста Києва

UDC 004.021

Approaches to prediction of speckle removal efficiency for DCT-based filter

V. V. Lukin¹, O. S. Rubel^{1*}, O. V. Naumenko¹, B. Vozel², K. Chehdi²¹National Aerospace University, Kharkov, Ukraine, ²University of Rennes 1, Lannion, France

Several approaches to prediction of despeckling efficiency for DCT-based filter are presented and compared. The approaches allow predicting standard quantitative criteria as improvement of PSNR (IPSNR) as well as criteria of visual quality for filtered images. We propose and analyze rather accurate automatic procedures of prediction that exploit moments of a statistical parameter calculated in 8x8 pixel blocks of a given noisy image under condition that speckle parameters (or number of looks) are a priori known or pre-estimated with a proper accuracy. It is also shown that the prediction approaches are applicable to images with different intensity of speckle. Prediction based on neural network specially trained for multiplicative noise is demonstrated to be the most accurate.

Keywords: speckle, remote sensing, DCT-based filter, efficiency prediction

© V. V. Lukin, O. S. Rubel, O. V. Naumenko, B. Vozel, K. Chehdi. 2014

Introduction

Remote sensing (RS) from airborne and spaceborne carriers has found numerous applications [24]. Radar RS is applied alongside with other types of imaging systems and it provides certain benefits compared to other RS systems as ability to work during day and night and possibility to operate in bad weather conditions [15]. However, acquired radar images formed by modern synthetic aperture radars (SARs) suffer from a noise-like phenomenon called speckle that appears due to coherent imaging mode and is the most intensive for single-look SAR images [15, 26]. There are several ways to cope with speckle [15, 26]. One way is to form multi-look images that, unfortunately, leads to worse spatial resolution of registered images. Besides, for a limited number of looks (e.g., two or three) speckle can be still intensive and annoying. Another way is to perform despeckling (filtering, denoising) where numerous methods exist (see [8, 9, 26] and references therein). However, such despeckling, alongside with efficient noise removal in image homogeneous regions, might smear edges/details and destroy texture features which is undesirable. These undesirable effects appear themselves for complex structure images containing a lot of fine details and textures. Then sometimes it becomes undesirable to carry out denoising or, at least, one has to perform filtering more carefully than usually. Thus, it is desirable to predict efficiency of despeckling before starting this operation of SAR image processing [3].

One problem is that despeckling efficiency depends upon many factors [8, 9, 26]. They are properties (complexity) of an image to be processed, noise statistical and spatial correlation characteristics,

availability and correctness of a priori information on noise characteristics, type of a used filter and its parameters as scanning window or block size, preset thresholds, etc. Thus, it is possible to characterize filtering efficiency in different ways. One way is to determine potential efficiency of filtering.

Currently there are several approaches to determining lower bounds of filtering efficiency [4, 5, 14, 17]. For the approach of Chatterjee and Milanfar [4], noise-free images are needed and potential (minimal) output mean square error (MSE) is determined for non-local filtering techniques under assumption that noise is additive, zero mean, white and its distribution is known a priori. Thus, despite of important results obtained in [4] (that will be briefly discussed below), this approach is impractical since noise-free image is not available for the considered task. The paper [5] puts forward a more practical approach where noise-free image is not anymore needed whilst determined lower bound agrees well with theory. However, the drawbacks of this approach are that it requires huge computations and determines not practical but potential output MSE.

The approach in [17] works for additive white Gaussian noise filtering based on local orthogonal transforms and the determined potential output MSE can differ from results in [4, 5] by up to 4 dB. Finally, the approach [14] proposed recently works well enough for white and spatially correlated additive noise with known variance. It produces a good estimate of output MSE provided by the best known filters for images that can be modeled by fractal Brownian motion (fBm). However, the calculations should be rather intensive.

The results presented in the papers [4, 5, 14, 17] allow concluding the following. For a given variance of additive noise, output MSE values (both lower bound and practically reachable) are the largest for highly tex-

* e-mail: edu.rubel@gmail.com

tural images. For such images, the existing state-of-the-art filters provide output MSE values that are very close to lower bound ones, especially if noise is intensive [14, 12, 21]. However, for simpler structure images, potential output MSE is usually considerably smaller than practical. Thus, potential output MSE, if derived somehow, is useless for practice since it does not describe attainable filtering efficiency.

Other problems [12] are the following. First, the results in [4, 5, 14, 17] have been obtained for additive Gaussian noise and our interest here is in suppressing multiplicative non-Gaussian noise (speckle). Second, it is desirable to predict not only standard metrics (quantitative criteria) but also metrics that characterize visual quality of filtered images [12]. Third, to be useful in practice, prediction of despeckling (filtering) efficiency should be simple and fast enough (faster than filtering itself).

Of course, it is desirable to have a general prediction procedure applicable for different types of filters. But we understand that this desire cannot be satisfied now and concentrate below on filtering based on discrete cosine transform (DCT).

There are several reasons behind this. First, the DCT based denoising provides noise removal efficiency close to the best known filters (see simulation results in [12] for additive noise and in [7, 8] for speckle noise). Thus, if prediction for the DCT-based filter is accurate enough, this means that it can also serve as a rough prediction for other state-of-the-art filters. Second, several interesting steps towards predicting filtering efficiency have been done recently just for the DCT-based filter, namely, the standard DCT and the known BM3D filter [10] where the latter one is considered to be the state-of-the-art in removing additive white Gaussian noise.

These steps are the following. Based on simulation results in [17], it has been supposed in [19] that filtering efficiency characterized by the ratio of output MSE to variance of input AWGN can be predicted based on one out of two simple statistics of DCT coefficients in 8×8 pixel blocks, in particular, mean probability ($P_{2\sigma}$) that absolute values of DCT coefficients do not exceed doubled standard deviation of AWGN (2σ). It has been shown [20] that it is possible to predict other parameters characterizing filtering efficiency as, improvement of peak signal-to-noise ratio (IPSNR) and improvement of the visual quality metric PSNR-HVS-M [16] (IPHVS), both expressed in dB. Moreover, this can be done not only for AWGN but also for spatially correlated noise under condition that its spatial spectrum is a priori known or accurately pre-estimated.

Later, it has been shown [18] that prediction of IPSNR and IPHVS is possible for the case of DCT-based removal of signal-dependent noise (that has additive and quasi-poissonian components [1]) under condition that parameters of these components are known in advance or accurately estimated in advance (then, an

algorithm of probability estimation is modified accordingly). It has been also determined that it is enough to estimate $P_{2\sigma}$ in non-overlapping blocks and/or to use, at least, 300...500 blocks placed randomly in probability estimation. This makes prediction by about two orders faster than even the standard DCT based filtering that employs two DCTs (direct and inverse) in fully overlapping blocks [11].

Here, it is worth recalling a general principle on how prediction is performed. A sufficient part of work is done off-line and in advance. The main goal of this work is to obtain an analytically described dependence of a parameter that characterizes filtering efficiency (e.g., IPSNR) on a statistical parameter that simultaneously characterizes image complexity and noise intensity (e.g., $P_{2\sigma}$). Having the corresponding dependence, one calculates an input parameter (e.g., $P_{2\sigma}$), substitutes it into the obtained dependence as argument, and gets an estimate of a parameter that characterizes filtering efficiency (e.g., IPSNR).

Such dependences are obtained in advance by forming a scatter-plot for pairs of the considered parameters for a wide set of test images and noise parameters and fitting a curve into this scatter-plot [18, 19, 20]. Quality of such a fitting (and quality of prediction) is characterized by several statistical criteria [2]. To make prediction quite general and accurate, several actions have to be performed. First, it is possible to optimize (or to properly select) the parameter (probability) [22] employed as input parameter in prediction. In this sense, the probability $P_{0.5\sigma}$ (that absolute values of DCT coefficients do not exceed 0.5σ) has occurred [22] to be slightly better than $P_{2\sigma}$ and earlier used $P_{2.7\sigma}$. Second, selection of the test image set and a set of noise parameters influences fitting (argument values have to cover all possible interval and they have to be “equally sparsely” located). Third, a function chosen for fitting (polynomial, exponent, etc) also has an impact on fitting results. Thus, special attention has to be paid to this aspect with several trials and choosing a best version. Fourth, prediction using only one input parameter can be not accurate enough [22, 23]. Without essential losing of computational efficiency and simplicity of prediction, it is possible to use two or more input parameters combined in some manner, in particular, using a trained neural network [23].

Therefore, here we deal with considering several tasks. The main of them is to analyze applicability of the prediction approaches to the case of despeckling SAR images where speckle is treated as a specific type of signal-dependent noise, which has been earlier discussed very briefly in [3]. Besides, we also aim to analyze possibilities of improving prediction accuracy.

The paper structure is the following. The second section describes the denoising mechanism of the DCT-based filter. The third section “Standard Methodology of Prediction” introduces used statistical parameters and a method for prediction. Section “Advanced Meth-

odologies of prediction” deals with improved methods of predicting by multi-parameter fitting and neural network learning. The last section analyses the obtained results of prediction for real aerial images and different methods.

DCT-based filtering and its modifications different noise types

DCT-based filter has high denoising efficiency and low computational complexity [17]. Moreover, it has been shown [17] that the DCT-based filter demonstrates efficiency close to the best-known filters (such as BM3D) [10] and to potential denoising bounds [4] particularly for AWGN model:

$$I_{an}^{add}(i, j) = I_t(i, j) + N_{Gaussian}(\sigma), \quad (1)$$

where I_t is true image, I_{an}^{add} is noisy image, i and j are indices of pixels in image. $N_{Gaussian}$ denotes zero mean additive white Gaussian noise (i.e., a 2D realization of Gaussian random process) with standard deviation of the noise σ .

Here, a basic block-wise denoising mechanism of the DCT filter is given for the AWGN case. After direct 2D DCT in a block, the following operation is carried out:

$$B_{out}^{add}(n, m) = \begin{cases} B_{in}^{add}(n, m) \leftarrow B_{in}^{add}(n, m) > \beta\sigma, \\ 0 \leftarrow B_{in}^{add}(n, m) \leq \beta\sigma, \end{cases} \quad (2)$$

where β is a denoising thresholding parameter that, in general, can vary in the range 2...4 (the recommended value is 2.7), n and m are spatial frequency indices in an image 8×8 pixels block, B_{in}^{add} denotes DCT coefficients of input noisy image block, B_{out}^{add} denotes DCT coefficients after thresholding. Then, inverse 2D DCT is carried out for B_{out}^{add} . The standard DCT-based filter [17] performs full-overlapping block-wise denoising and, at the final stage, it collects data from overlapping blocks together with averaging the filtered values for a given pixel.

However, for SAR remote sensing imagery, speckle which is a multiplicative nature noise-like phenomenon is more inherent. For one-look or single-look remote sensing images [24], the following model of multiplicative Rayleigh distributed speckle is considered adequate (for amplitude images) [15]:

$$I_{sdn}^{1-look}(i, j) = I_t(i, j) N_{Rij}(k), \quad (3)$$

where $N_{Rij}(k)$ denotes Rayleigh distributed random value, k is distribution parameter that provides unity mean, I_{sdn}^{1-look} is an (one-look noisy) image distorted by specific signal-dependent noise. Multi-look SAR images, i.e. averaged (by pixels) sets of images of the same sensed surface region, have slightly different kind of noise. Such noisy images can be modelled as averaged value of L Rayleigh noise realizations:

$$I_{sdn}^{L-look}(i, j) = \sum_l I_t^l(i, j) N_{Rij}^l(k) / L = I_t(i, j) \bar{N}_{Rij}, \quad (4)$$

where L means the number of image looks, I_{sdn}^{L-look} is the distorted multi-look image, $N_{Rij}^l(k)$ is l -th realization of unity mean Rayleigh random variable.

It is seen from (2) that denoising mechanism of the DCT filter deals with hard thresholding. For different noise types and models, denoising threshold is set differently. For multiplicative spatially uncorrelated noise case such as speckle, the denoising threshold is modified as:

$$B_{out}^{mult}(n, m) = \begin{cases} B_{in}^{mult}(n, m) \leftarrow B_{in}^{mult}(n, m) > \beta\sigma_\mu \bar{S}_{in}^{mult}, \\ 0 \leftarrow B_{in}^{mult}(n, m) \leq \beta\sigma_\mu \bar{S}_{in}^{mult}, \end{cases} \quad (5)$$

where $\bar{S}_{in}^{mult}$ is mean intensity of a given image block (that can be also measured in spatial domain), σ_μ^2 denotes (relative) variance of multiplicative noise, other introduced notations as B_{in}^{mult} and B_{out}^{mult} are similar to the ones earlier used in (2). Note that σ_μ^2 for the model (3) equals to 0.273 and it becomes σ_μ^2/L for multi-look amplitude images [15].

Standard Methodology of Prediction

Due to simplicity, high performance and easy adaptivity of the DCT-based filter to different types of the noise, this denoising technique is attractive for practical use. Being equipped by an efficiency prediction operation, it becomes even more attractive. However, prediction should be a simple and fast procedure. It is worth stressing here that remote sensing systems are demanding to computational complexity of data processing like denoising. Quite many recently proposed filters have high complexity [10] and, meanwhile, they can introduce essential distortions into processed images in some case, which is undesirable.

One of the purposes of denoising efficiency prediction is “catching” practical situations when filtering efficiency is not appropriate and the filtering procedure could be cancelled or avoided. The second goal is prediction of metric improvement (these can be metrics PSNR or PSNR-HVS-M [16]) without a corresponding reference image.

The principal idea of getting a predicted value consists in using some operation with some input statistics of a noisy image and further obtaining of the output (predicted) value. Thus, two tasks arise: what statistical parameter(s) to use and how to predict, i.e. to link two values – a statistical parameter(s) and a metric of denoising efficiency.

The abovementioned goals of prediction require low complexity of prediction operation and appropriate accuracy. This restricts a set of techniques and parameters that can be applied. It is preferable if only simple arithmetic operations are used for the purpose of prediction. Moreover, amount of statistics obtained from

an image for predicting the efficiency of its filtering can be also limited. This means that we need some informative local estimates that produce reasonably small volume of data.

The first task is strictly connected with the denoising mechanism of the DCT-based filter. This mechanism removes coefficients that are smaller than the preset threshold(s). It is a reasonable idea that the number of removed (zeroed) DCT coefficients strictly influences final denoising efficiency. In [19], the first steps of predicting the DCT-based filter efficiency were done. The proposed method uses hard thresholding operation and requires adequate threshold value setting. As statistical parameter, probability that DCT coefficients potentially are removed or not by the filter is used.

The proposed method collects local estimates for all considered image blocks using the procedure described above for subsequent prediction. Local statistical estimates for additive noise (AWGN) and multiplicative noise (speckle) models could be the following:

$$E_{out}^{add}(n, m, q) = \begin{cases} 1 \leftarrow B_{in}^{add}(n, m, q) < \alpha\sigma, \\ 0 \leftarrow B_{in}^{add}(n, m, q) \geq \alpha\sigma, \end{cases} \quad (6)$$

$$E_{out}^{mult}(n, m, q) = \begin{cases} 1 \leftarrow B_{in}^{mult}(n, m, q) > \alpha\sigma_\mu \bar{S}_{in}^{mult}, \\ 0 \leftarrow B_{in}^{mult}(n, m, q) \leq \alpha\sigma_\mu \bar{S}_{in}^{mult}, \end{cases} \quad (7)$$

$$P_{\alpha\sigma}(q) = \sum_{n,m} E_{out}(n, m, q) / 63, \quad (8)$$

where q is an index of an analyzed block, α is the thresholding parameter used for prediction (it is similar to β), $P_{\alpha\sigma}(q)$ is a set of local probability estimates calculated for the q -th block in a processed image.

Note that $P_{\alpha\sigma}(q)$ is calculated for 63 coefficients (in 8×8 pixel block) excluding DCT coefficient that corresponds to mean intensity and has indices (0, 0 – left up corner) in block (this coefficient is also not used in denoising). It is seen that the values of the local estimates of $P_{\alpha\sigma}(q)$ lie in the range 0...1. It is not a problem to remember and store the set of local estimates for a given image at intermediate stage of prediction.

Then, this set can be represented as some distribution. In [19], only mean value ($\bar{P}_{\alpha\sigma} = \sum P_{\alpha\sigma}(q)$) was used for predicting the ratio MSE/σ^2 . Thresholds for probabilities obtaining were 2σ and 2.7σ . The first threshold is used for estimation of probability that DCT coefficients do not exceed threshold. The second threshold was estimated in [19] the opposite way $\bar{P}_{2.7\sigma} = \sum (1 - P_{2.7\sigma}(q))$.

Motivations for using those thresholds were empirical and they followed from our previous experience. The threshold 2σ is usually exploited in the well known sigma-filter [13] for defining a neighbourhood whilst the threshold 2.7σ has been intensively used in DCT-based filtering [17].

For linking MSE/σ^2 and mean probability value for

both thresholds, polynomial and exponential fitting functions were used. The prediction method was exploited both for DCT-based filter and BM3D. Function coefficients were calculated by maximizing goodness of fit (R^2) as fitting criteria:

$$R^2 = 1 - SS_{res}/SS_{tot}, \quad (9)$$

where SS_{res} denotes the sum of squares of residuals, also called the residual sum of squares, SS_{tot} is the total sum of squares which is proportional to the sample variance. Traditionally, the goodness of fit is the main quantitative parameter that describes effectiveness (quality) of fitting.

Due to the fact that the studies in [19] were at initial stage, they have several drawbacks. First, a small number of test images was exploited. Thus, an insufficient number of scatter-plot points has been used in curve fitting. In particular, $\bar{P}_{2.7\sigma}$ and $\bar{P}_{2\sigma}$ that correspond to texture images were not presented at scatter-plots. This means that, in general, a large set of points (different values of statistical parameter distributed along full range of possible parameter and metric values) must be used for accurate prediction.

In [20], as prediction model, exponent fitting function was used as the most suitable:

$$Metric_{pred} = a \exp(b \bar{P}_{\alpha\sigma}), \quad (10)$$

where $Metric_{pred}$ is a predicted value of a metric of denoising efficiency, a and b are coefficients of fitting function. As it has been mentioned before in [19], the cases of a equal to 2 or to 2,7 have been considered.

In [19], a larger (sufficient) number of points (34) was used and another noise model was considered – additive spatially correlated noise. Alongside with MSE/σ^2 , fitting functions for improvement of the metrics PSNR and PSNR-HVS-M (the latter metric is based on human vision system and adequately assesses visual quality) were obtained for three noise models. The obtained approximations for spatially correlated noise turned out to be close to the approximations for the AWGN case. Partially this observation indicates universality of the proposed method that can be applied to other noise models. Due to it, we assume that prediction model based on AWGN can be applied to prediction of speckle removal efficiency and compared with those based on speckle-noised data.

New results of as threshold setting for prediction procedure were obtained in [22]. In addition, it has been shown that using the mean probability $P_{0.5\sigma}$ (i.e. $\alpha = 0.5$) is more suitable than $\bar{P}_{2\sigma}$ for prediction, i. e. providing higher goodness of fit value.

In Fig. 1, scatterplots of AWGN data for IPSNR and IPSNR-HVS-M metrics vs probabilities $\bar{P}_{2\sigma}$ and $\bar{P}_{0.5\sigma}$ are presented (blue points). For prediction performing, a large set of test images has been used: 128 different images and 10 noise levels (variances of AWGN were 4,

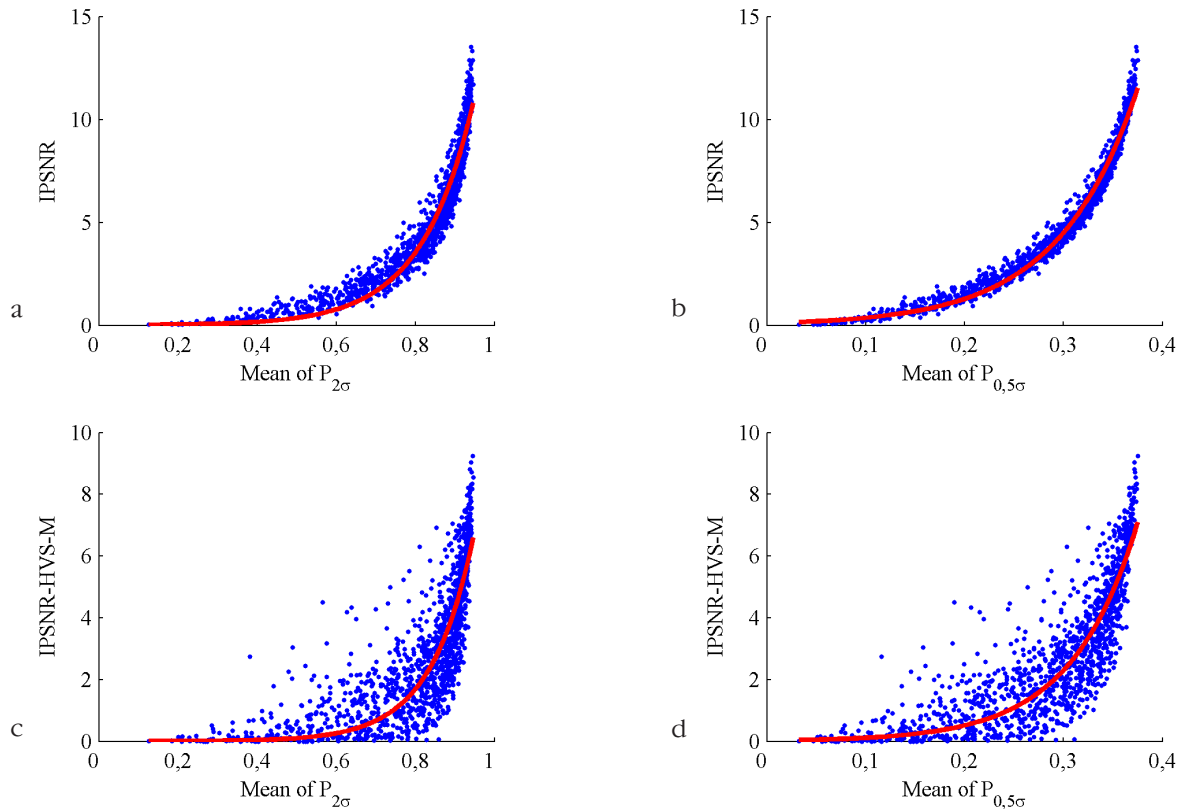


Fig. 1. 1D scatterplots of improvement of PSNR (a, b) and PSNR-HVS-M (c, d) for the DCT-based denoising vs mean of local estimates of $P_{2\sigma}$ (a, c) and $P_{0.5\sigma}$ (b, d) and the fitted 1D prediction functions (approximations)

9, 25, 64, 100, 144, 225, 289, 400, and 625). All used images have different content and are taken from different databases (TID2013 [6], USC-SIPI [25] and some other).

In addition, fitted curves of the exploited exponential fitting function (10) are shown as red lines. Coefficients of fitting functions and goodness of fit parameters are presented in Tables 1 and 2. It is well seen from the plots that IPSNR data points are less scattered than IPSNR-HVS-M data points. As a result, goodness of fit values for IPSNR functions are higher than for IPSNR-HVS-M. This means easier prediction for the IPSNR metric compared to the metric IPSNR-HVS-M. Also it should be stressed that the use of $\bar{P}_{0.5\sigma}$ is more preferable than the use of $\bar{P}_{2\sigma}$ since this reduces data scattering (R^2 occurs to be larger).

Besides, the scatterplots for IPSNR-HVS-M show that

the proposed one-parameter (mean of $P_{\sigma\sigma}$) fitting model and, respectively, prediction can be not sufficiently accurate. Thus, it is desirable to apply some more advanced technique, primarily to IPSNR-HVS-M prediction. This can be done using more informative statistics as statistical parameter (-s) and appropriate predicting models.

Advanced Methodologies of Prediction

As it has been shown in the previous section, after procedure of local estimation of $P_{\sigma\sigma}$, a set of estimates having a certain distribution is obtained. Four examples of such distributions for two noisy images and two probabilities $P_{2\sigma}$ and $P_{0.5\sigma}$ are presented in Fig. 2. The used images are remote sensing single-look images distorted by speckle with relative variance σ_μ^2 equal to

Table 1
Coefficients of 1D fitting functions using statistical parameters obtained from AWGN-distorted data and goodness of fit results

$P_{2\sigma}$			
Metric	a	b	R^2
IPSNR	$7.97 \cdot 10^{-3}$	7.62	0.94
IPSNR-HVS-M	$0.99 \cdot 10^{-3}$	9.31	0.72
$P_{0.5\sigma}$			
Metric	a	b	R^2
IPSNR	0.11	12.53	0.98
IPSNR-HVS-M	$26 \cdot 10^{-3}$	14.99	0.78

Table 2
Coefficients of the 2D fitted functions for the parameters obtained for AWGN case and goodness of fit results

$P_{2\sigma}$				
Metric	a	b_1	b_2	R^2
IPSNR	$2.5 \cdot 10^{-3}$	8.84	13.37	0.98
IPSNR-HVS-M	$4.29 \cdot 10^{-6}$	15.06	55.9	0.91
$P_{0.5\sigma}$				
Metric	a	b_1	b_2	R^2
IPSNR	$84.95 \cdot 10^{-3}$	12.9	17.71	0.94
IPSNR-HVS-M	$1.4 \cdot 10^{-3}$	20.66	201.6	0.86

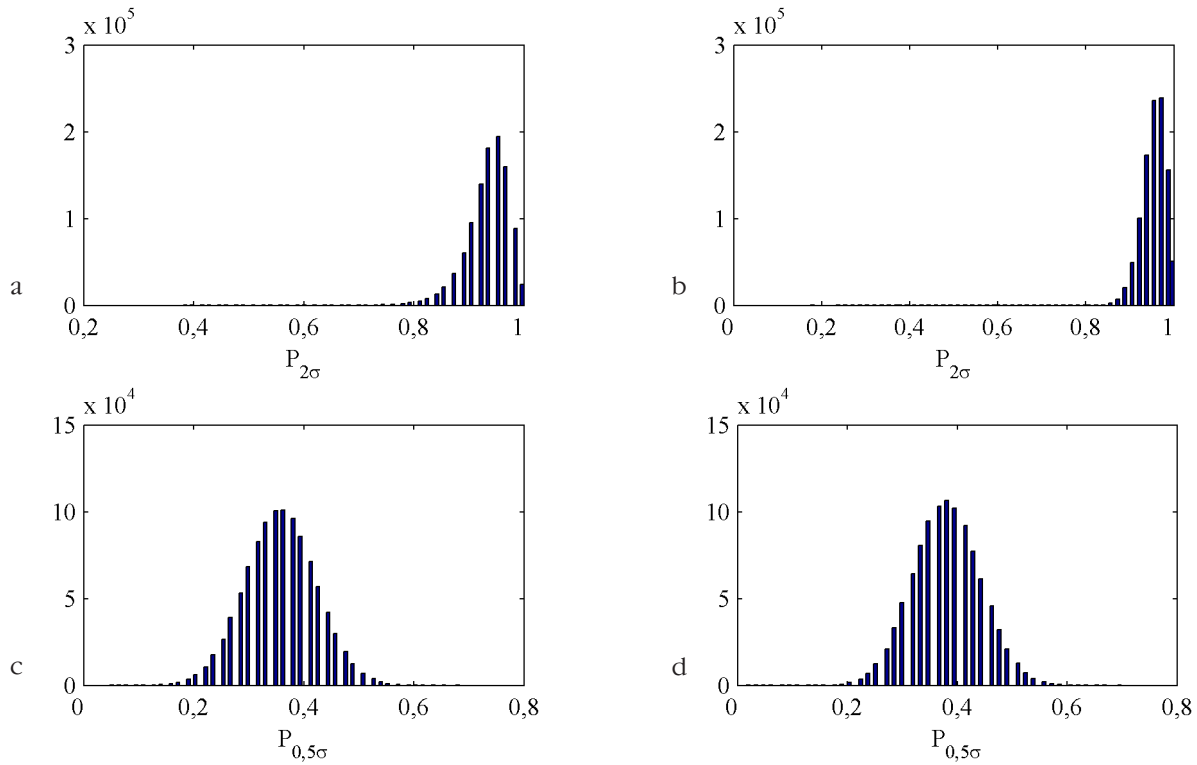


Fig. 2. Histograms of local estimates of $P_{2\sigma}$ (a, b) and $P_{0.5\sigma}$ (c, d) for first test image (a, c) and for second (b, d)

0.273 produced by Rayleigh noise with $P_{\sigma\sigma}(q)$ are obtained using expressions (7) and (8).

Achieved improvements of metrics for denoising by the DCT-based filter are the following: for the test image №16, IPSNR is 10.03 dB and IPSNR-HVS-M is 6.16 dB; for the image № 38, improvements are essentially larger: IPSNR is 16.71 dB and IPSNR-HVS-M is 12.03 dB (the mentioned test images are presented later in Fig. 4) and a larger positive effect due to filtering should be observed.

Meanwhile, the mean probabilities of $P_{2\sigma}$ and $P_{0.5\sigma}$ for these two test images are close: 0.934 and 0.359 for first test image; 0.953 and 0.381 for the second test image. They lie in the range where the fitted curves are changing rapidly (see Fig. 1). Therefore, for such case, prediction error can be large if a used input statistic parameter would be estimated with inappropriate accuracy. Thus, more input information for prediction procedure can be needed.

Such information can be obtained (retrieved) from the sample (set) of local estimates. In [20], instead of considering only the mean value, six first order statistic parameters were exploited for AWGN data: the mean (M), median (Med), mode (Mod), variance (D), skewness (S) and kurtosis (K). Extended exponential function that depends on these six parameters in exponent was proposed due to its simplicity and convenience:

$$Metric_{pred} = a \exp\left(\sum_i b_i O_i(P_{\sigma\sigma})\right), \quad (11)$$

where $Metric_{pred}$ is the predicted value of metric, a and b_i are coefficients of fitting functions, O_i is a statistical

operator for estimating parameters of the distribution of local estimates of $P_{\sigma\sigma}$.

It has been shown that joint use of, at least, M and D provides higher predicting performance than the standard procedure for the metric IPSNR-HVS-M. The use of three or more statistics parameters for the exponential model (11) results in insignificant improvement of prediction performance. Thus, the use of only M and D in (12) can be considered sufficient and such a prediction has low computational cost. Moreover, it has been shown that the prediction procedure does not require full-overlapping processing and 300...500 is the sufficient number of blocks where local estimates have to be obtained.

$$Metric_{pred} = a \exp(b_1 M(P_{\sigma\sigma}) + b_2 D(P_{\sigma\sigma})). \quad (12)$$

In Fig. 3, the corresponding 2D scatterplots with the fitted surfaces are presented for mean and variance of local estimates of $P_{2\sigma}$ and $P_{0.5\sigma}$. The obtained parameters of the 2D fitting surfaces are presented in Tables 3 and 4.

Desire to further improve prediction (e.g., using more than two statistical parameters) leads to more advanced prediction procedure [23]. The fitting model is, in fact, based on feed-forward neural network (NN) with three layers (with empirically chosen number of neurons) that was trained for approximating a dependence. The NN has the number of inputs equal to the number of used input statistical parameters, ten neurons in hidden layer and one output neuron for providing a predicted value. A network training function, which up-

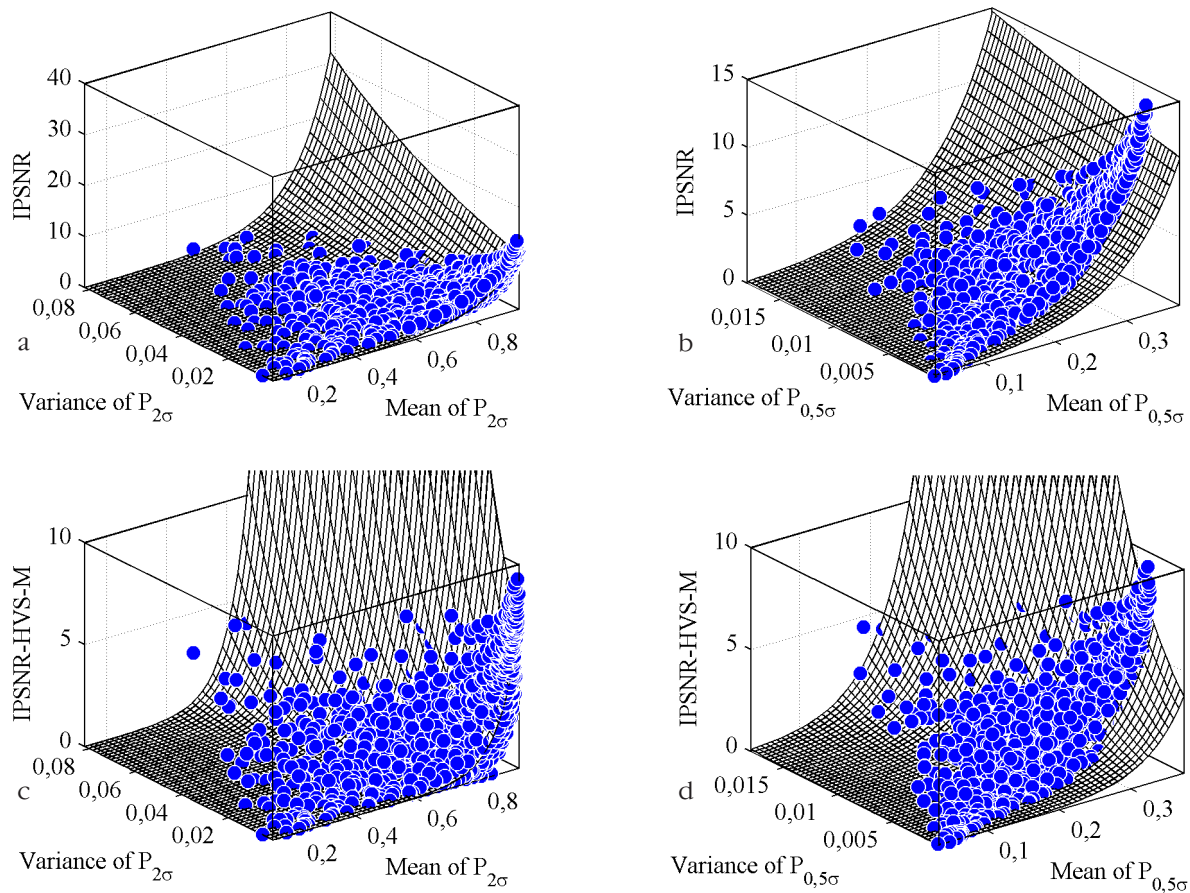


Fig. 3. 2D scatterplots of improvements of PSNR (a, b) and PSNR-HVS-M (c, d) of the DCT-based denoising on statistical parameters (mean and variance) of local estimates of $P_{2\sigma}$ (a, c) and $P_{0.5\sigma}$ (b, d) and the fitted 2D prediction (approximation) functions

dates values, was used according to Levenberg-Marquardt optimization algorithm that is based on least-squares algorithm.

It has been shown in [23] that prediction is good if one use, at least, four input parameters: M, D, S and K. The standard deviation of actual practical prediction error for IPSNR-HVS-M was about 0.5 dB where such variation of the metric value is practically undistinguishable for a human eye. One reason why such a high accuracy is provided is that four aforementioned parameters are informative and not essentially inter-connected (for instance, Med and Mod are strongly connected with M and their joint usage would be inefficient).

Here we would like to answer the following question: is it possible to use a fitting function and NN trained for AWGN data for predicting denoising efficiency for speckle images or it is worth using speckled images and data for them in NN training and/or in function fitting.

Previously, 128 images distorted by 10 levels (noise variances) of AWGN were used for the NN-predictor as well as for one- and two-parameter fitting. To verify the proposed methods for speckle case, all 128 images are modelled as multi-look images (from 1 to 10 looks) to provide different relative variances. Such a large number of images are used for providing full-range statis-

tics for effective prediction. Speckle-distorted data (1280 points) are exploited by three previously described methods: one-parameter fitting (using only M parameter of P_{as}), two-parameter fitting model (using parameters M and D of P_{as}) and NN-predictor (using the parameters M, D, S and K of P_{as}).

Here the analysis of the proposed method performance, i.e. goodness of fit, is provided. Goodness of fit results for function fitting models and NN-predictor learned for AWGN and speckle cases are presented for $P_{2\sigma}$ and $P_{0.5\sigma}$ in Tables 3. It is well seen that fitting for AWGN-distorted data gives higher goodness of fit than for speckle-distorted data. That is observed for all methods and probabilities.

IPSNR fitting results are very good for all methods using AWGN-distorted data. Satisfactory results for IPSNR-HVS-M can be achieved by using two-parameter function and NN-predictor also using AWGN-distorted data. For speckle-distorted data, IPSNR values can be well predicted by two-parameter fitting and NN-predictor. However, IPSNR-HVS-M predicting using speckle data can be well only by using NN-predictor.

Note that satisfactory R^2 values for $P_{0.5\sigma}$ are higher for all methods and exploited data than for $P_{2\sigma}$. It should be stressed that R^2 values increase by using more statistical parameters and more complicated predicting

Table 3Goodness of fit R^2 for different prediction methods using statistical parameters

Metric	$P_{2\sigma}$		
	One-parameter fitting	Two-parameter fitting	Multi-parameter NN
AWGN-distorted data			
IPSNR	0.94	0.94	0.97
IPSNR-HVS-M	0.72	0.86	0.95
Speckle-distorted data			
IPSNR	0.54	0.81	0.9
IPSNR-HVS-M	0.42	0.65	0.87
Metric	$P_{0.5\sigma}$		
	One-parameter fitting	Two-parameter fitting	Multi-parameter NN
AWGN-distorted data			
IPSNR	0.98	0.98	0.99
IPSNR-HVS-M	0.78	0.91	0.96
Speckle-distorted data			
IPSNR	0.69	0.88	0.92
IPSNR-HVS-M	0.54	0.74	0.90

models. As result, the NN-predictor using $P_{0.5\sigma}$ has the highest R^2 value for AWGN- and speckle-distorted data.

However, one of above mentioned requirements for prediction methods is low computational cost. Statistical parameters that are used for prediction are simply calculated. One- and two- parameter function fitting are also very simple predicting models. These methods

require fitting operation, i.e. learning for certain data (for some denoising technique or noise model). Input parameters easily are inserted into the corresponding fitting function with the known coefficients. Hence, prediction procedure using fitting functions is very fast procedure. It can be easily applied in remote sensing systems due to their computational restrictions.

The NN-predictor is more complicated since it requires some additional software and support. As well as fitting models, NN-predictor also requires one training procedure on corresponding data. It requires more statistics due to providing higher predicting performance by using more advanced generalization ability than function fitting models. Besides, such complexity increases computational burden. That restricts this method applying in some image acquisition systems.

Analysis of the obtained results

Observing previous fitting results, AWGN-learned prediction methods can be applied to multi-look remote sensing images distorted by speckle. That can prove universality of prediction approaches using AWGN data for prediction denoising efficiency for other noise model. Two-parameter fitting method and NN-predictor are used for prediction verification on real remote sensing images.

For verification, 40 remote sensing images are used as the test set, some test images are shown in Fig. 4.

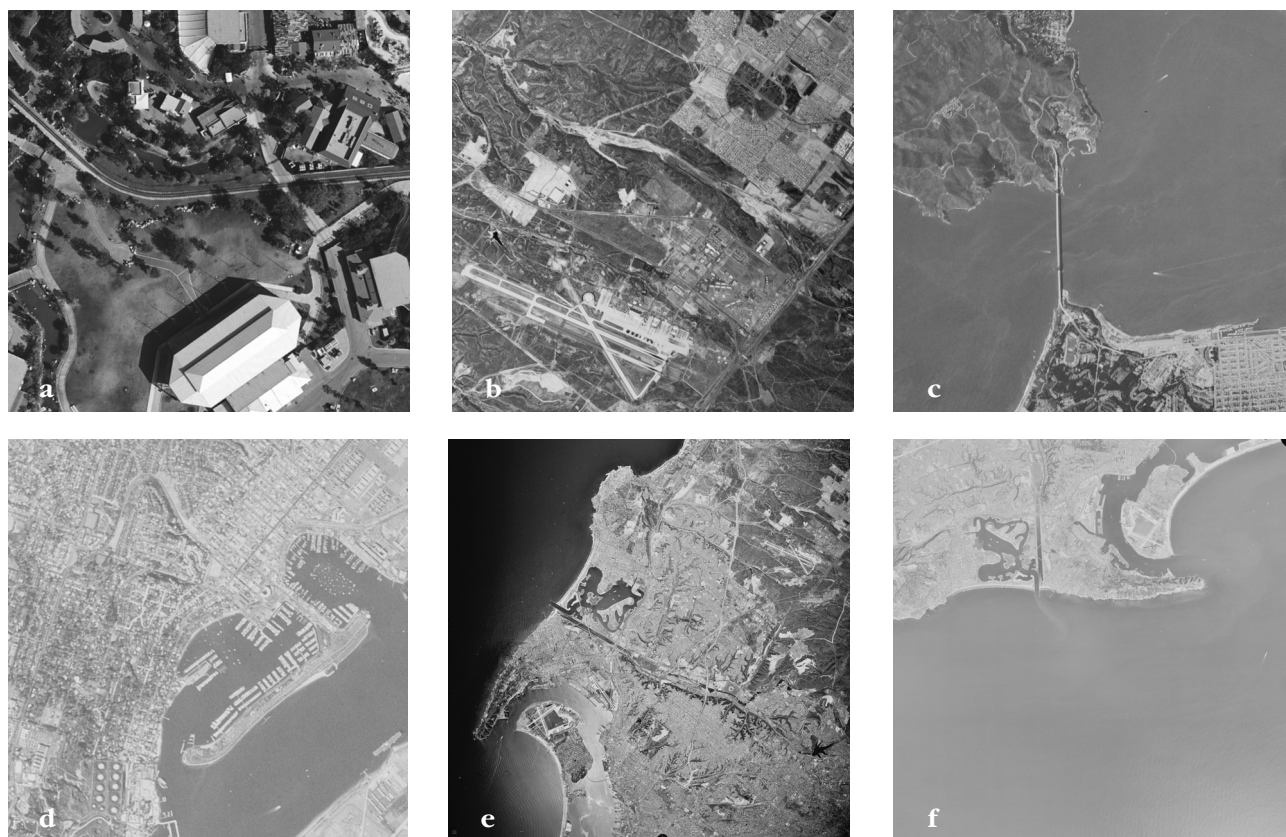


Fig. 4. Examples of the test aerial images: a – test image №1, b – №5, c – №7, d – №14, e – №16, f – №38

There are some widely used test images among them: fr01-04 (№1-4), San Diego (№5), Frisco (№7). Images have different sizes: from 512×512 to 1024×1024 pixels and are grayscale with 256 intensity levels. It is well seen that images have various content, e.g. textures, fine details, homogenous regions), and pixels size.

Practical denoising data and the predicted values for IPSNR and IPSNR-HVS-M are shown in Figs 5 and 7 for AWGN data. In Figs 6 and 8, the results for speckle data are presented. Different number of looks of remote sensing images are considered as examples: single, four and seven. Prediction methods learned by large datasets are verified by applying on real grayscale remote-sensing images. It is well seen that one-look images is the hardest case for prediction. Prediction using AWGN-distorted data is more effective per-

formed by the NN-predictor than by two-parameter fitting for all metrics and data.

Prediction using NN and speckle data seems to be the most effective for one-look images. However, for multi-look images case, both AWGN and speckle learned methods are quite effective. This is an interesting observation: once the obtained data, e.g., AWGN-distorted, and the NN-predictor trained on it can be applied to some another noise model or model with unknown parameters.

Note that threshold setting (2σ or 0.5σ), i.e. input parameter choosing for prediction model, influences prediction performance. For instance, statistics obtained from test image №38 produce outliers for the NN- predictor if one uses $P_{2\sigma}$ whilst prediction using $P_{0.5\sigma}$ performs better.

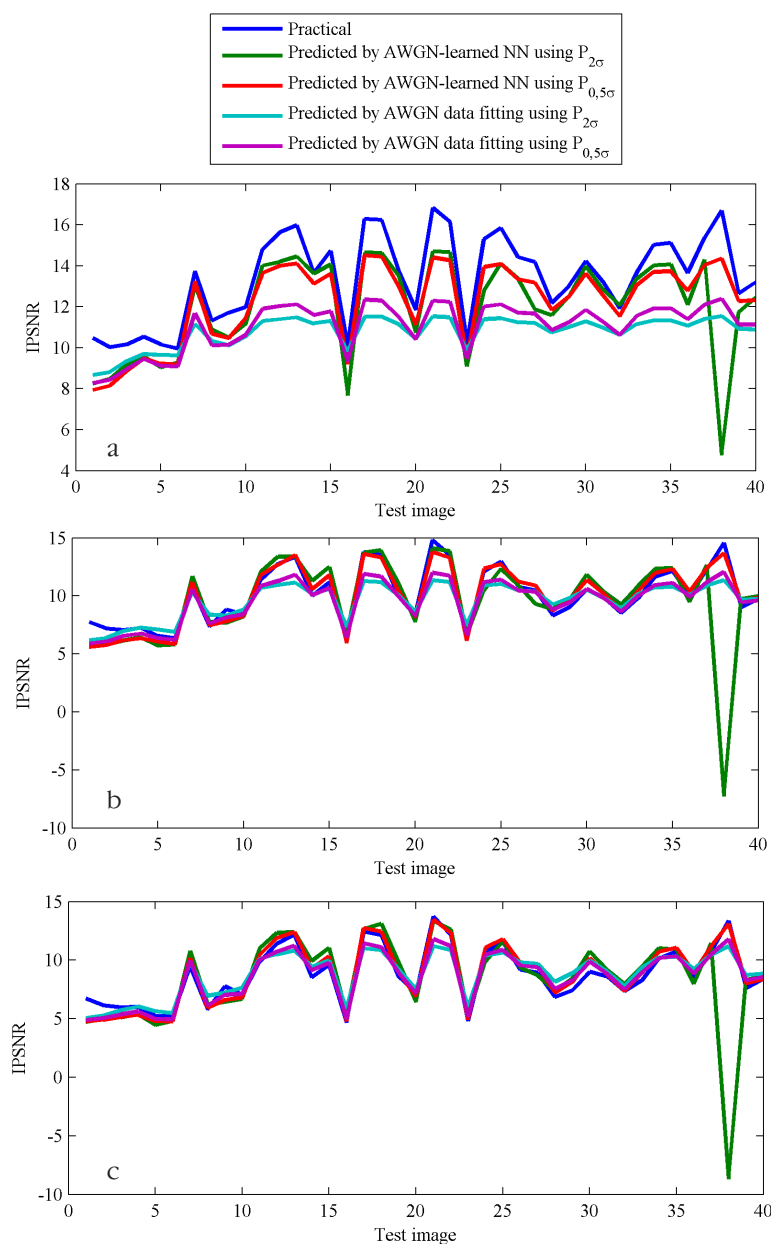


Fig. 5. Improvement of practical PSNR values for 1-look images (a), 4-look images (b), 7-look images (c) processed by the DCT-based filter and the predicted results by fitting and NN based methods using statistical parameters of local estimates of $P_{2\sigma}$ and $P_{0.5\sigma}$ (for NN training and fitting, AWGN-distorted data were used)

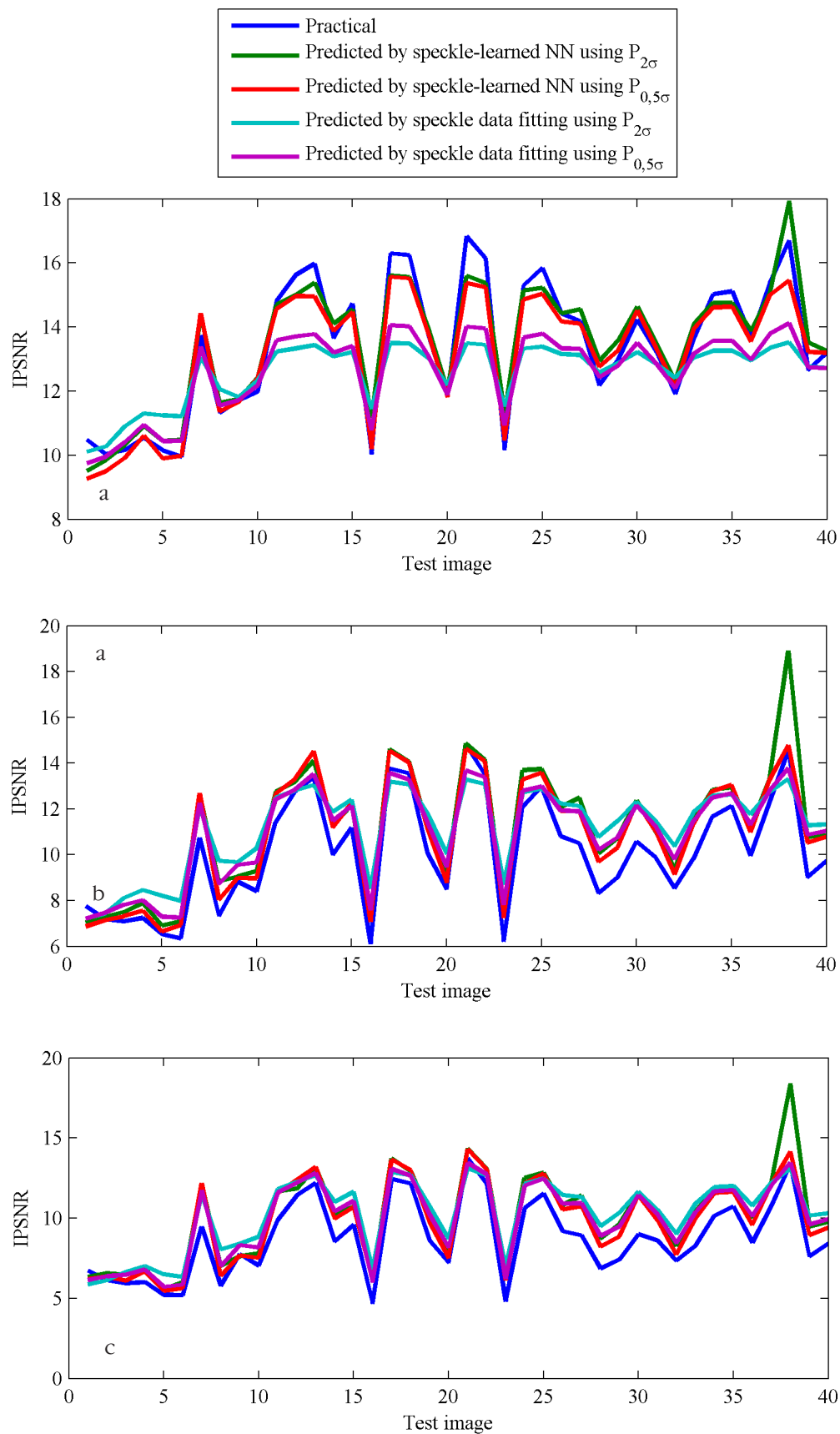


Fig. 6. Improvement of practical PSNR values for 1-look images (a), 4-look images (b), 7-look images (c) processed by the DCT-based filter and the predicted results by fitting and NN based methods using statistical parameters of local estimates of $P_{2\sigma}$ and $P_{0.5\sigma}$ (for NN training and fitting, speckle-distorted data were used)

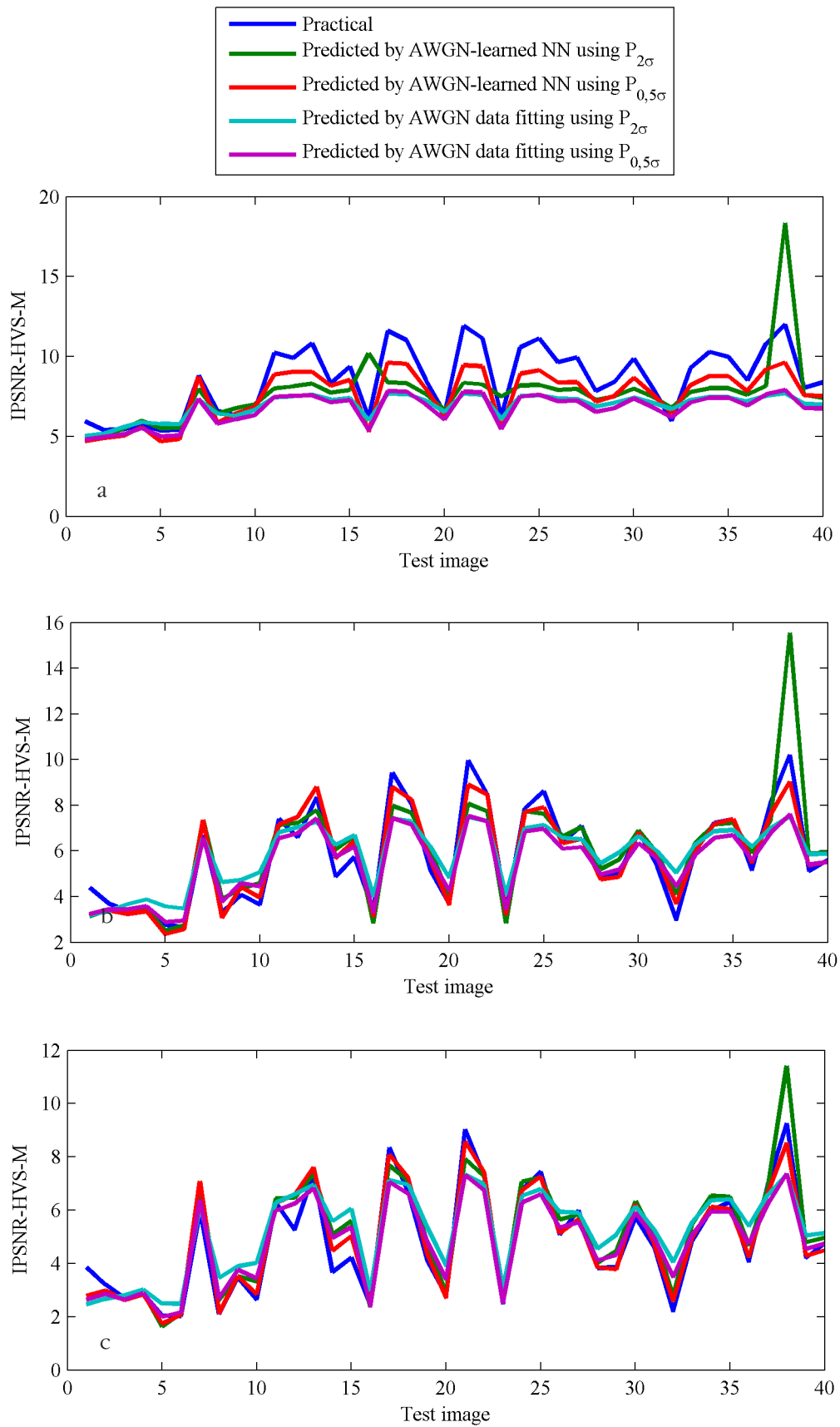


Fig. 7. Improvement of practical PSNR-HVS-M values for 1-look images (a), 4-look images (b), 7-look images (c) processed by the DCT-based filter and the predicted results by fitting and NN based methods using statistical parameters of local estimates of $P_{2\sigma}$ and $P_{0.5\sigma}$ (for NN training and fitting, AWGN-distorted data were used)

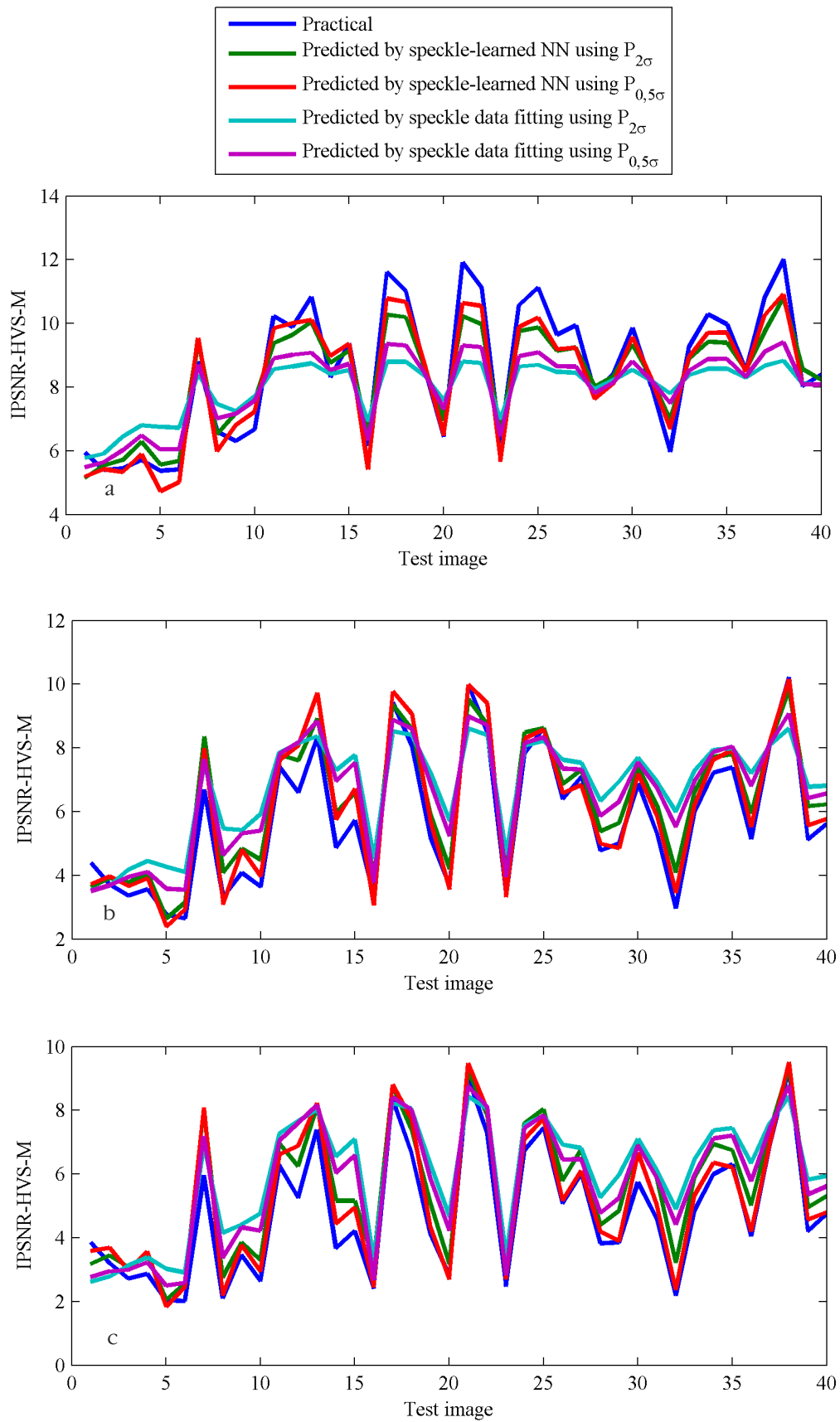


Fig. 8. Improvement of practical PSNR-HVS-M values for 1-look images (a), 4-look images (b), 7-look images (c) processed by the DCT-based filter and the predicted results by fitting and NN based methods using statistical parameters of local estimates of $P_{2\sigma}$ and $P_{0.5\sigma}$ (for NN training and fitting, speckle-distorted data were used)

Table 4

Variances of errors in dB for prediction by different methods for 40 test aerial images

Prediction method	IPSNR		IPSNR-HVS-M	
	$P_{2\sigma}$	$P_{0.5\sigma}$	$P_{2\sigma}$	$P_{0.5\sigma}$
single-look images				
AWGN-learned two-parameter fitting	2.187	1.176	2.115	1.514
AWGN-learned multi-parameter NN	2.464	0.257	1.739	0.426
speckle-learned two-parameter fitting	1.846	0.997	1.929	1.142
speckle-learned multi-parameter NN	1.133	0.274	1.248	0.324
4-look images				
AWGN-learned two-parameter fitting	2.069	1.065	1.782	1.229
AWGN-learned multi-parameter NN	3.926	0.331	1.293	0.293
speckle-learned two-parameter fitting	1.662	0.849	1.588	0.901
speckle-learned multi-parameter NN	1.934	0.238	1.839	0.189
7-look images				
AWGN-learned two-parameter fitting	1.772	0.888	1.467	1.009
AWGN-learned multi-parameter NN	4.161	0.387	0.974	0.289
speckle-learned two-parameter fitting	1.386	0.699	1.312	0.763
speckle-learned multi-parameter NN	2.316	0.263	2.032	0.232

From analysis of the presented plots, some observations can be done:

1. The DCT-based filter applied to speckled images can provide significant improvement of visual quality (see, e.g., the IPSNR and IPSNR-HVS-M values for the test images №7, 11, 13, 17, 18, 21, 22, 24, 25, and 38 in Figs 5–8).

2. However, in some cases (see the data for the test images №5, 16, 20, 23 and 32 due to their complex content), the filter provides insignificant improvement of metrics.

3. It is well seen that differences between practical and predicted results reach about one dB for multi-look images (see Figs 5–8b, c) in some cases. For single-look images such differences are, on the average, larger (see Figs 5–8a).

4. Multi-look images have lower relative variance than single-look images due to (4). Therefore, enhanced multi-look images have higher visual quality.

In Table 7, MSE values of prediction errors for 40 test images dataset and different number of looks are presented. Let us summarize these results:

1. It is well seen that prediction error MSEs are smaller if $P_{0.5\sigma}$ is used for prediction. That is true for all prediction methods and metrics.

2. AWGN- and speckle-learned two-parameter fitting for multi-look images have larger error MSEs than NN-predictors.

3. For single- and multi-look images, AWGN- and speckle-learned NN-predictor using $P_{0.5\sigma}$ have appropriate error MSEs where RMSE values do not exceed 0,5 dB.

4. Speckle-learned NN are even better than AWGN-learned NN for multi-look images (see bold numbers). For single-look images and IPSNR metric, however, the situation is the opposite.

5. AWGN-learned NN can be applied to speckle-distorted images instead of speckle-learned NN without significant increasing of errors.

Besides, accuracy of denoising efficiency prediction provided by prediction methods and exploited by other

automatic processing without human interaction have to be more accurate. Thus, our further work will be devoted to providing more accurate prediction for other noise models and denoising techniques.

Conclusions

Methodology of denoising efficiency prediction of the DCT-based filter is proposed. The proposed method estimates local statistics from image 8x8 pixel blocks in DCT domain. Transformed blocks are processed by hard thresholding procedure to provide local estimates of the considered probabilities. Local estimates are collected and their distribution parameter(s) is calculated. These can be sample mean or other simple statistics. These parameters are inputs for prediction model with output predicted metric (IPSNR and IPSNR-HVS-M) of denoising efficiency.

Two prediction models are exploited: fitting function model and feed-forward neural network (NN). It is shown that two-parameter function fitting model is very simple procedure with high prediction performance. In turn, the NN-predictor demonstrates the highest prediction performance using more statistics with more complicated prediction mechanism.

For prediction providing by the model fitting or by the NN training, a rather large data (image) set is needed. Images in this set can be distorted by noise of two models: AWGN or speckle. In general, it is possible to apply the models obtained for AWGN case to predicting speckle suppression efficiency in single and multi-look remote sensing images. This proves a certain universality of the proposed prediction approach. However, it is better to use images with simulated speckle at initial stage (curve fitting or NN training) and then to apply these results to images corrupted by speckle. The largest benefit is provided for one-look images.

Further works will be devoted to predicting denoising efficiency for other noise models and other denoising techniques.

References

- Acito N. Signal-dependent noise modeling and model parameter estimation in hyperspectral images / N. Acito, M. Diani, G. Corsini // *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. – 2011. – Vol. 49. – No 8. – P. 2957–2971.
- An R-squared measure of goodness of fit for some common nonlinear regression models / C. Cameron, A. Windmeijer, A. G. Frank, H. Gramajo, D. E. Cane, C. Khosla // *Journal of Econometrics*. – 1997. – Vol. 77. – No 2. – P. 329–342.
- Approaches to Automatic Data Processing in Hyperspectral Remote Sensing / V. Lukin, S. Abramov, N. Ponomarenko, S. Krivenko, M. Uss, B. Vozel, K. Chehdi, K. Egiazarian, J. Astola // *Telecommunications and Radio Engineering*. – 2014. – Vol. 73. – No 13. P. 1125–1139.
- Chatterjee P. Is Denoising Dead / P. Chatterjee, P. Milanfar // *IEEE Transactions on Image Processing*. – 2010. – Vol. 19. – No 4. – P. 895–911.
- Chatterjee P. Practical Bounds on Image Denoising: From Estimation to Information / P. Chatterjee, P. Milanfar // *IEEE Transactions on Image Processing*. – May 2011. – Vol. 20. – No 5. – P. 1221–1233.
- Color Image Database TID2013: Peculiarities and Preliminary Results / N. Ponomarenko, O. Ieremeiev, V. Lukin, K. Egiazarian, L. Jin, J. Astola, B. Vozel, K. Chehdi, M. Carli, F. Battisti, C.-C. Jay Kuo // *4th European Workshop on Visual Information Processing EUVIP2013, Paris, France*. – 2013. – 6 p.
- Denoising of single-look SAR images based on variance stabilization and non-local filters / M. Makitalo, A. Foi, D. Fevrale, V. Lukin // *Proceedings of MMET*. – 2010. – 4 p.
- Efficiency Analysis of Combined Despeckling of Single-Look SAR Images / R. A. Kozhemiakin, S. S. Krivenko, V. V. Lukin, R. C. P. Marques, F. N. S. de Medeiros, B. Vozel // *Aerospace Engineering and Technology*. – 2013. – Vol. 5. – No 102. – P. 102–111.
- Exploiting patch similarity for SAR image processing: the nonlocal paradigm / C.-A. Deledalle, L. Denis, G. Poggi, F. Tupin, L. Verdoliva // *IEEE Signal Processing Magazine, Recent Advances in Synthetic Aperture Radar Imaging*. – 2014. – 8 p.
- Image denoising by sparse 3-D transform-domain collaborative filtering / K. Dabov, A. Foi, V. Katkovnik, K. Egiazarian // *IEEE Transactions on Image Processing*. – 2007. – Vol. 16. – No 8. – P. 2080–2095.
- Image filtering based on discrete cosine transform / V. Lukin, R. Oktem, N. Ponomarenko, K. Egiazarian // *Telecommunications and Radio Engineering*. – 2007. – Vol. 66. – No 18. – P. 1685–1701.
- Image Filtering: Potential Efficiency and Current Problems / V. Lukin, S. Abramov, N. Ponomarenko, K. Egiazarian, J. Astola // *Proceedings of ICASSP, Prague*. – May 2011. – P. 1433–1436.
- Lee J. S. Digital image smoothing and sigma filter / J. S. Lee // *Computer Vision, Graphics and Image Processing*. – 1983. – Vol. 24. – No 2. – P. 255–269.
- Lower Bound on Image Filtering Mean Squared Error in the Presence of Spatially Correlated Noise / M. Uss, A. Rubel, V. Lukin, B. Vozel, K. Chehdi // *IEEE: Proceedings of MRRS, Kiev, Ukraine*. – 2014. – P. 10–13.
- Oliver C. Understanding Synthetic Aperture Radar Images / C. Oliver, S. Quegan // *SciTech Publishing*. – 2004. – 486 p.
- On between-coefficient contrast masking of DCT basis functions / N. Ponomarenko, F. Silvestri, K. Egiazarian, M. Carli, J. Astola, V. Lukin // *Proceedings of the Third Int. Workshop on Video Processing and Quality Metrics, USA*. – 2007. – Vol. 3. – 4 p.
- Pogrebnyak O. Wiener discrete cosine transform-based image filtering / O. Pogrebnyak, V. Lukin // *SPIE: Journal of Electronic Imaging*. – 2012. – Vol. 21. – Is. 4. – 15 p.
- Prediction of DCT-based Denoising Efficiency for Images Corrupted by Signal-Dependent Noise / S. Krivenko, V. Lukin, B. Vozel, K. Chehdi // *Proceedings of IEEE 34th International Scientific Conference Electronics and Nanotechnology, Kiev, Ukraine*. – 2014. – P. 254–258.
- Prediction of Filtering Efficiency for DCT-based Image Denoising / S. Abramov, S. Krivenko, A. Roenko, V. Lukin, I. Djurovic, M. Chobanu // *Proceedings of MECO, Budva, Montenegro*. – 2013. – P. 97–100.
- Rubel A. S. Prediction of Filtering Efficiency for Discrete Cosine Transform Based Removal of Additive Noise on Images / A. S. Rubel, V. V. Lukin // *Radio-electronic and Computer Systems*. – 2013. – Vol. 4. – P. 35–45.
- Rubel A. Efficiency of DCT-based denoising techniques applied to texture images / A. Rubel, V. Lukin, O. Pogrebnyak // *Proceedings of MCPR, Cancun, Mexico*. – 2014. – P. 261–270.
- Rubel O. An Improved Prediction of DCT-Based Filters Efficiency Using Regression Analysis / O. Rubel, V. Lukin // *Information and Telecommunication Sciences, Kiev, Ukraine*. – 2014. – Vol. 5. – No 1. – P. 30–41.
- Rubel A. A Neural Network Based Predictor of Filtering Efficiency for Image Enhancement / A. Rubel, A. Naumenko, V. Lukin // *Proceedings of MRRS, Kiev, Ukraine*. – 2014. – P. 14–17.
- Schowengerdt R. A. Remote Sensing: Models and Methods for Image Processing: Third edition / R. A. Schowengerdt // *Academic Press, San Diego, CA*. – 2007. – 515 p.
- The USC-SIPI Image Database. [Electronic resource] – Access mode: <http://sipi.usc.edu/database/> – 2014.
- Touzi R. A. Review of Speckle Filtering in the Context of Estimation Theory / R. A. Touzi // *IEEE Trans. on GRS*. – 2002. – Vol. 40. – No 11. – P. 2392–2404.

МЕТОДЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОДАВЛЕНИЯ СПЕКЛ-ШУМА ДЛЯ ФИЛЬТРА НА ОСНОВЕ ДКП

В. В. Лукин, А. С. Рубель, А. В. Наumenко, Б. Возель

Представлено и произведено сравнение нескольких методов прогнозирования эффективности подавления спекл-шума для ДКП фильтра. Представленные методы позволяют выполнять прогнозирование значений некоторых стандартных количественных критериев, например, возрастания пикового соотношения сигнал/шум (IPSNR) благодаря фильтрации так же успешно, как и значений некоторых критериев визуального качества отфильтрованных изображений. Исследованы точные автоматические процедуры прогнозирования, использующие моменты статистических параметров. Такие параметры рассчитываются в блоках размером 8×8 пикселей на изображениях, искаженных спекл-шумом с некоторыми характеристиками (количество взглядов), которые считаются априорно известными или вычисленными заранее с приемлемой точностью. Показана возможность применения методов для искаженных изображений при разном количестве взглядов. Прогнозирование на основе нейронной сети, обученной на предварительно полученных данных со спекл-шумом, является наиболее эффективным.

Ключевые слова: спекл-шум, дистанционное зондирование, ДКП фильтр, эффективность прогнозирования

МЕТОДИ ПРОГНОЗУВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРИДУШЕННЯ СПЕКЛ-ШУМУ ДЛЯ ФІЛЬТРА НА ОСНОВІ ДКП

В. В. Лукін, О. С. Рубель, О. В. Наumenко, Б. Возель

Представлено та проведено порівняння декількох методів прогнозування ефективності придушення спекл-шуму для ДКП фільтра. Запропоновані методи дозволяють виконувати прогнозування значень деяких стандартних кількісних критеріїв, наприклад збільшення пікового співвідношення сигнал/шум (IPSNR) так же успішно, як і значень деяких критеріїв візуальної якості відфільтрованих зображень. Досліджені точні автоматичні процедури прогнозування, що використовують моменти статистичних параметрів. Такі параметри розраховуються в блоках розміром 8×8 пікселів на зображеннях, спотворених спекл-шумом з деякими характеристиками (кількість поглядів), які вважаються априорно відомими або обчисленими заздалегідь із прийнятною точністю. Показана можливість застосування методів для спотворених зображень при різній кількості поглядів. Прогнозування на основі нейронної мережі, навченої на заздалегідь отриманих даних зі спекл-шумом, є найбільш ефективним.

Ключові слова: спекл-шум, дистанційне зондування, ДКП фільтр, ефективність прогнозування

УДК 528.88:(551.4:621.039.75)(477.41+521.16)

Аналіз впливу рельєфу на поверхневий перерозподіл радіонуклідів територій, що зазнали радіаційного забруднення (на прикладі зон відчуження атомних електростанцій Чорнобиль і Фукусіма-1)

Н. В. Пазинич, В. Є. Філіпович *

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

За методикою морфодинамічного аналізу рельєфу, відпрацьованої в зоні відчуження Чорнобильської атомної станції, на основі цифрових моделей рельєфу (ЦМР) проведено дослідження у зоні радіаційного забруднення станції Фукусіма-1. Доведено, що рельєф є визначальним фактором формування радіаційного "сліду" для гірських місцевостей. В результаті досліджень на еталонних ділянках встановлена можливість визначення за даними ЦМР конкретних територій потенційно схильних до самоочищення та самозабруднення поверхневими денудаційними процесами та можливість прогнозування змін меж ареалів радіаційного "сліду".

Ключові слова: Чорнобильська АЕС, АЕС Фукусіма-1, цифрова модель рельєфу, морфодинамічний аналіз рельєфу, динаміка перерозподілу радіонуклідів, каркасні елементи рельєфу, латеральні масопереміщення

© Н. В. Пазинич, В. Є. Філіпович. 2014

Аварії атомних електростанцій відносяться до найзначніших техногенних катастроф які спіткали людство в останні десятиріччя. Після Чорнобильської катастрофи зона відчуження перетворилась на наймасштабнішу лабораторію вивчення наслідків радіаційного забруднення, де працювали фахівці різних країн та різних наукових напрямів. Одним з напрямів досліджень науковців було дослідження особливостей і закономірностей руху радіонуклідів у природних середовищах до яких відносились біосфера, атмосфера, ґрунти, поверхневі, ґрунтові та підземні води, тощо [1–3].

Згідно класичних, дочорнобильських, уявлень спокуси цезію мали міцно сорбуватися верхнім шаром ґрунту. Натомість дослідженнями у зоні відчуження Чорнобильської атомної електростанції (ЧАЕС) повторними вимірами точок концентрації цезію у верхньому 5-ти см шарі ґрунту на протязі п'яти років виявлено, що у 10% точок забруднення було жорстко закріплено і залишилось без змін, на 65% точок спостерігалось зменшення вмісту нуклідів у ґрунті, а 25% точок вимірювання характеризувалися різким підвищенням активності ґрунтів, причому при відсутності надходження цезію від джерела забруднення.

Ці дослідження встановили, що поверхнєве забруднення ґрунтів є змінною величиною. Існують ділянки де в результаті дефляції та площинного змиву відбуваються процеси виносу радіонуклідів з частками ґрунту, а також має місце накопичення сполук цезію на механічних та геохімічних бар'єрах [4].

Потрапивши в ландшафтну сферу продукти радіаційного забруднення починають переміщення у відповідності до законів руху речовини у природ-

ному середовищі. Одним з напрямів досліджень, які відпрацьовувались в зоні відчуження ЧАЕС був морфодинамічний аналіз рельєфу як площини, що контролює латеральну складову речовинно-динамічного потоку. За методикою, розробленою О. М. Ласточкіним, земна поверхня розбивалася окремими лініями на грані. Лінії визначають ділянки розділу і концентрації латеральних потоків та їх напрями [5]. На основі топографічних матеріалів і матеріалів дистанційного зондування Землі (МДЗЗ), на той час, головним чином, аерофотознімків території 10-ти кілометрової зони відчуження ЧАЕС укладались картографічні моделі на яких визначалось спрямування переміщень, ділянки виносу транзиту та депонування забруднення. Особлива увага приділялась визначенню ділянок механічних бар'єрів де радіонукліди могли накопичувати із наступним переходом у інше природне середовище, наприклад — ґрунтові води. До найбільш поширених механічних бар'єрів відносяться увігнуті перегиби рельєфу (тилові шви терас, підніжжя схилів, тощо). Фрагмент карти каркасних елементів рельєфу подано на рисунку 1.

На рисунку зображено ділянку південніше ЧАЕС. Каркасна структура рельєфу представлена кільковими лініями, що з'єднують точки мінімальних екстремумів Земної поверхні, в межах цих ліній відбувається концентрація латеральних потоків. В геоморфологічному плані кількові лінії відповідають руслам балок, ярів, безруслувим улоговинам лінійно витягнутим низинам, тощо. Лінії гребеневі з'єднують точки максимальних екстремумів і відповідають вододілам звідки починається винос речовини. Траси потенційних низхідних речовинних потоків визначають напрями площинного змиву. Також у відповідності до методики О. М. Ласточки-

* e-mail: mfilin@casre.kiev.ua

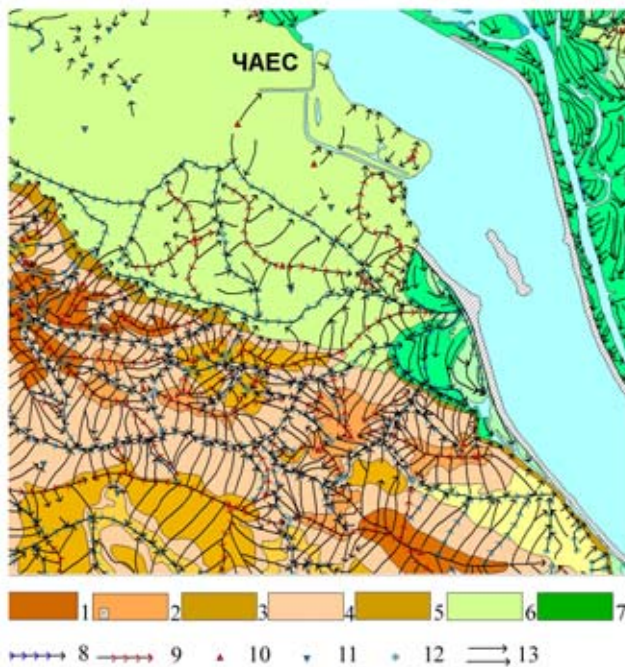


Рис. 1. Фрагмент карти каркасних елементів рельєфу і ландшафтних ярусів 10-ти км зони відчуження ЧАЕС
Ландшафтні яруси: 1 — елювіально-вододільний (високий), 2 — елювіально-вододільний (середній), 3 — елювіально-вододільний (низький), 4 — транселювіальний (схилувий), 5 — транселювіальний-слабогідроморфний, 6 — елювіально-гідроморфний, 7 — гідроморфний
Каркасні елементи ландшафту: 8 — кільові лінії, 9 — гребеневі лінії; характерні точки: 10 — виток, 11 — сток, 12 — проміжні, 13 — траси низхідних речовинних потоків

на мало місце виділення точок “виток” що займали панівне положення звідки відбувається винос речовини і точок “сток” де винесена речовина накопичується. В геоморфологічному відношенні перші точки відповідають горбам, а другі — безвідпливним западинам. Крім ліній виділено окремі яруси рельєфу; елювіальні займають найвищі гіпсометричні положення і відносяться до ділянок виносу, транселювіальні яруси є зонами транзиту речовини, а гідроморфні субгоризонтальні заплавно-терасові рівні є зонами з обмеженою латеральною міграцією, або її повною відсутністю. На особливу увагу заслуговують підніжжя схилів ярусів рельєфу, або перегини рельєфу, що є механічними бар'єрами де відбувається злам латеральних потоків, втрата швидкості і накопичення матеріалів транспортування.

Друге попередження про величезну потенціальну загрозу, яку несуть у собі атомні електростанції, сталося 11 березня 2011 року в Японії. Первинною причиною аварії на АЕС Фукусіма-1, на відміну від ЧАЕС, стали природні фактори. В результаті викидів в атмосферу радіонуклідів та наступного забруднення земної поверхні була визначена зона відчуження. Для регіонального дослідження особливостей випадіння радіаційної часток на Земну поверхню були використані цифрові моделі рельєфу (ЦМР) з метою виявлення ролі впливу рельєфу на процес осідання радіонуклідів. Для роботи були викорис-

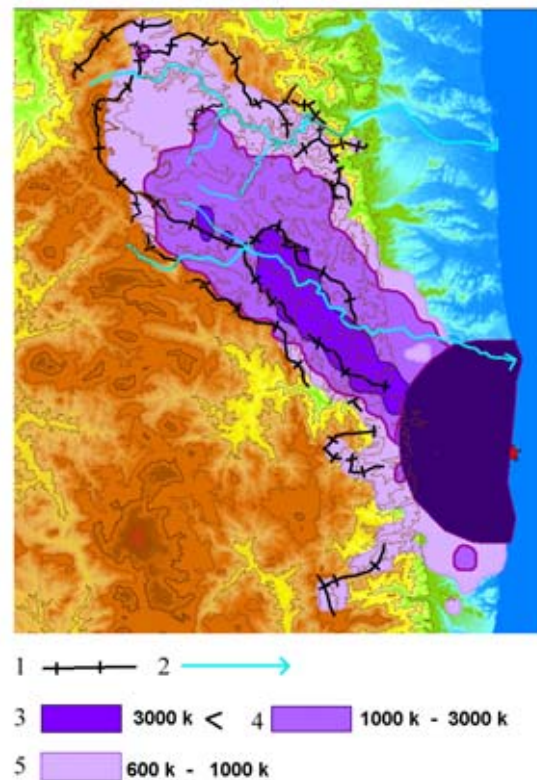


Рис. 2. Розповсюдження ареалу радіаційного забруднення відносно вододільних гірських хребтів в районі АЕС “Фукусіма”
1 — вододіли, 2 — гідромережа, 3–5 — ареали радіаційного фону Cs-137 (Bq/m²)

тані наступні дані: готові ЦМР, одержані за матеріалами радіолокаційної космічної зйомки SRTM [6], і дані про радіаційне забруднення, отримані з відкритих джерел уряду Японії [7–8]. Результати дослідження представлені на рисунку 2.

Атомна електростанція Фукусіма-1 розташована на Тихоокеанському узбережжі, де абсолютні відмітки поверхні становлять в середньому 10 м. Повітряними масами, продукти радіаційних викидів, були переміщені у північно-західному напрямку у бік гірських масивів і сформували локалізований “слід” радіаційного забруднення. Межі “сліду” контролюються гірськими хребтами, висота яких сягає 800 м. Гірські хребти відіграли роль механічного бар'єру, який зумовив зменшення швидкості повітряних мас і осідання речовин, що містилися у повітряному потоці. Подані дані з рисунку 2 свідчать, що на територіях зі значними відносними перевищуваннями, рельєф має визначальну роль у формуванні ареалів радіаційного забруднення. Подальша доля міграції радіонуклідів після осідання на поверхню має відбуватись за законами руху речовини у ландшафтному середовищі.

Зіставлення природних умов зон відчуження АЕС Фукусіма-1 і Чорнобиль свідчить про те, що екзогенні процеси і пов'язані з ними латеральні переміщення мають бути значно інтенсивнішим в районі Фукусіма-1 ніж у Чорнобилі. Середньорічна кількість опадів, причому іноді дуже рясних,

у префектурі Фукусіма становить 1 000–1 200 мм/рік, а в районі Чорнобиля не перевищує 750 мм/рік. Відносні перевищення поверхні у зоні відчуження Фукусіми сягає 800 м, а в Чорнобилі не більше 50–55 м. Саме такі природні дані зумовлюють інтенсивність денудаційних процесів у зоні відчуження АЕС Фукусіма-1 і відповідно підвищену швидкість перерозподілу радіонуклідів по Земній поверхні у порівнянні з Чорнобильською зоною.

Наступним кроком на основі ЦМР була побудова каркасної структури рельєфу зони відчуження з виділенням характерних ліній і точок, що визначають локалізацію і спрямування латеральних речовинних потоків на вивчені яких базується морфодинамічний аналіз. Метою детальних досліджень рельєфу в межах ділянок досліджень було проведення аналізу і прогнозування перерозподілу речовини, в тому числі і радіонуклідів латеральними потоками локалізація яких і інтенсивність контролюється рельєфом (рис. 3).

На рисунку 3 зображено обрані ділянки детальних досліджень у зоні відчуження АЕС Фукусіма-1. Перша знаходиться у зоні де проживання жителів заборонено, а друга у зоні примусової евакуації населення. Основою дослідження цих ділянок було створення картографічних моделей на основі ЦМР. Для цього були сформовані контури – аналоги горизонталей, задані з кроком 10 та 20 м. Проведений в межах цих двох еталонних ділянок морфологічний аналіз рельєфу полягав у розчленуванні рельєфу на окремі грані шляхом трасування ліній через точки мінімальних і максимальних екстремумів Земної поверхні – кильові і гребеневі. Аналіз пластики рельєфу дозволив виділити увігнуті перегиби рельєфу, що являються механічними бар'єрами, в межах яких латеральні потоки втрачають швидкість і речовина, що ними переміщується затримується і накопичується. На особливу увагу заслуговують характерні точки зносу у яких накопичується переміщений з вищих ділянок матеріал. Природною особливістю ландшафтів є схильність до самоочищення. Відносна інтенсивність латеральної міграції у межах, ярусів рельєфу дає можливість оцінити перспективи змін первинного забруднення радіонуклідами в результаті латеральної міграції.

Метою аналізу другої ділянки детальних досліджень було прогнозування змін меж ареалів забруднення в результаті латерального переміщення і наступного “розповзання” поверхневого забруднення. Межі зони евакуації були проведені по вододільних лініях які затримали розповсюдження атморадіаційної міграції. Проте подальші ерозійно-денудаційні процеси мають спрямувати забрудненні поверхневі маси ґрунту, літочастинок корінних порід та мортмас до понижених ділянок рельєфу, що спричинить

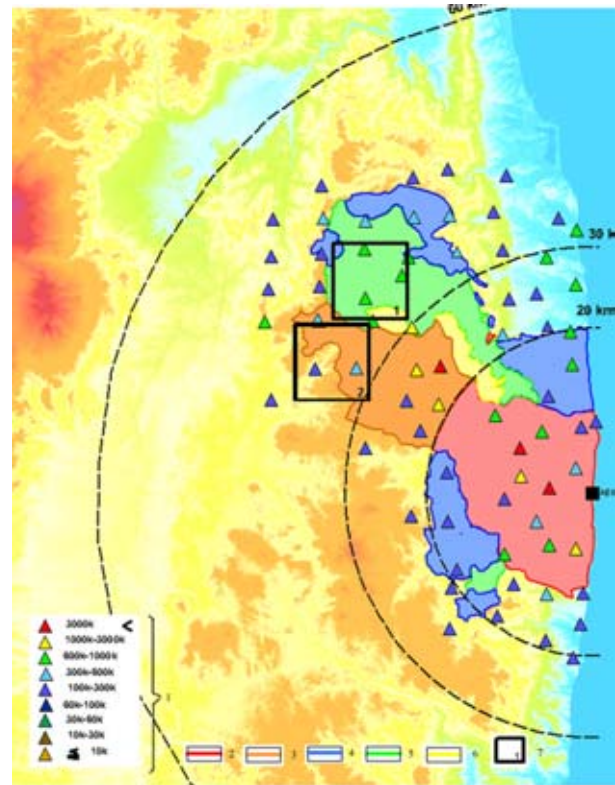


Рис. 3. Місцезоположення детальних ділянок досліджень в районі АЕС “Фукусіма”

1 — радіаційні дози цезію-137 на ґрунті на 1 вересня 2012 року, концентрація цезію-137 (Bq/m^2); статус територій 2 — заборонена зона, 3 — території примусової евакуації населення, 4 — території, на які евакуаційні замовлення готові бути зняті, 5 — області, у яких мешканцям не дозволено жити, 6 — площі де очікується, що мешканці матимуть труднощі з поверненням протягом тривалого часу, 7 — ділянки досліджень

“розповзання” радіаційного забруднення. Таким чином з часом територія, що зараз вважається цілком безпечною може отримати інший еколого-небезпечний статус.

Висновки

Поряд з іншими природними факторами рельєф відповідає за розповсюдження та подальше переміщення радіонуклідів у природному середовищі. МДДЗ, зокрема ЦМР дають можливість у повному обсязі досліджувати морфодинамічні властивості рельєфу. Каркасна структура рельєфу визначає особливості і закономірності латеральних масо-переміщень. Ландшафтне районування на основі аналізу пластики рельєфу уможливило виділення ділянок, схильних до природного самоочищення та вторинного самозабруднення. Детальний аналіз морфодинамічних особливостей рельєфу має використовуватись для прогнозування змін меж ареалів радіаційного забруднення, що відбуваються внаслідок діяльності природних процесів. Подальші дослідження варто спрямувати на кількісне моделювання прогнозування можливих змін радіаційного забруднення зон відчуження за допомогою морфодинамічного аналізу територій на основі обробки часових серій радіаційних вимірювань.

Література

1. Лялько В. И. Комплексирование многозональных космических снимков различного пространственного разрешения для повышения эффективности исследований лесных массивов (на примере зоны отчуждения ЧАЭС и районов Сибири) / В. И. Лялько, А. И. Сахацкий, А. Я. Ходоровский, И. Я. Буянова, А. Т. Азимов // *Космічна наука і технологія*. — 2002. — Т. 8. — № 2/3. — С. 239–246.
2. Орлов О. О. Біогеохімія Цезію 137 у лісоболотних екосистемах Українського полісся / О. О. Орлов, В. В. Долін. — К.: Наук. Думка, 2010. — 198 с.
3. Шестопалов В. М. Ідентифікація автореабілітаційних процесів у водотоках зони відчуження та можливе спрямування реабілітаційної діяльності / В. М. Шестопалов, О. Л. Шевченко, О. М. Козицький [та ін.] // *Бюл. екол. стану зони відчуження та зони безумовного (обов'язкового) відселення*, 2000. — № 16. — С. 18–23.
4. Гудзенко В. В. Цезий, как техногенный индикатор инфильтрационного процесса / В. В. Гудзенко, Н. Г. Люта // Доклады 3-го Всесоюзного научно-технического совещания по итогам ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС. — Чернобыль-92. Сборник тезисов. — Зеленый мыс, 1992. — Т. I, Часть II. — С. 482–489.
5. Ласточкин А. Н. Морфодинамическая концепция общей геоморфологии / А. Н. Ласточкин. — Л.: Недра, 1991. le Radar Topography Mission (SRTM) data. — Режим доступу: <http://srtm.csi.cgiar.org/>
7. Distribution Map of Radiation Dose – Soil concentration map. Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology of Japan. — Режим доступу: <http://ramap.jmc.or.jp/map/eng/>
8. Monitoring information of environmental radioactivity level. Nuclear Regulation Authority. — Режим доступу: <http://radioactivity.nsr.go.jp/en/>

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ РЕЛЬЕФА НА ПОВЕРХНОСТНОЕ ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЕ РАДИОНУКЛИДОВ ТЕРРИТОРИЙ, ПОДВЕРГШИХСЯ РАДИАЦИОННОМУ ЗАГРЯЗНЕНИЮ (НА ПРИМЕРЕ ЗОН ОТЧУЖДЕНИЯ АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ ЧЕРНОБЫЛЬ И ФУКУСИМА-1)

Н. В. Пазинич, В. Е. Филиппович.

Согласно методике морфодинамического анализа рельефа, отработанной в зоне отчуждения Чернобыльской атомной станции, базируясь на цифровых моделях рельефа (ЦМР), проведены исследования в зоне радиационного загрязнения станции Фукусима-1. Определено, что рельеф является определяющим фактором при формировании радиационного “следа” для гористых местностей. В результате исследований на эталонных участках установлено возможность определения по данным ЦМР конкретных территорий потенциально предрасположенных к самоочищению и самозагрязнению поверхностными денудационными процессами, а также возможность прогнозирования изменения границ ареалов радиационного “следа”.

Ключевые слова: Чернобыльская АЭС, АЭС Фукусима-1, цифровая модель рельефа, морфодинамический анализ рельефа, динамика перераспределения радионуклидов, каркасные элементы рельефа, латеральный массоперенос.

ANALYSIS OF THE IMPACT OF THE RELIEF ON THE SURFACE REDISTRIBUTION OF RADIONUCLIDES TERRITORIES AFFECTED BY RADIOACTIVITE CONTAMINATION (FOR EXAMPLE OF EXCLUSION OF NUCLEAR POWER PLANTS CHERNOBYL AND FUKUSHIMA-1)

N. V. Pazynych, V. E. Filipovich.

According to the procedure of morphodynamic terrain analysis based on digital elevation model (DEM), tested within the exclusion zone of Chernobyl nuclear power plant, the area of radioactive contamination of Fukushima-1 was researched. It was determined that the terrain elevation is a main driver of radioactive “trace” formation within highlands. The possibility to determine the areas potentially prone to self-cleaning and surface contamination under denudation by DEM was demonstrated in reference sites. Also the opportunity to predict changes in the boundaries of radiation “trace” area was prospected.

Keywords: Chernobyl NPP, Fukushima-1 NPP, digital elevation model, morphodynamic analysis of terrain, dynamic movement of radionuclides, topography frame elements, lateral mass transfer

УДК 553.98.061.3

Концепція утворення та пошуку нафти і газу

С. М. Єсіпович*

ДУ "Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук НАН України", Київ, Україна

Сприятливі умови для утворення високодебітних родовищ виникають в найбільш мобільних зонах земної кори — так званих шовних рифтогенних зонах (ШРЗ). До механічних умов «перетирання» і примусової фільтрації ювенільних вуглеводнів через динамічно напружені товщі, збагачені органічною речовиною, додаються умови високої температури та тиску. Вивчення ШРЗ дозволяє отримати уточнену структурну модель перспективної ділянки і визначає, в якому місці антиклінального склепіння треба закласти пошукову свердловину.

Ключові слова: нафтогазоносність, шовні рифтогенні зони, ослаблені зони, земна кора, геологічні цикли

© С. М. Єсіпович. 2014

Сьогодні можна погодитись з академіком І. І. Чебаненком [1], який говорить про глибоку кризу концепції органічного походження нафти. Коли вже прибічники органічної гіпотези А. А. Трофимук, В. І. Молчанов та В. В. Панаєв відмовляються від таких понять як нафтоматеринська світа, і що саме в ній утворюється мікронафта, яка вже потім мігрує до місць свого накопичення, то це багато про що говорить. Ще раз підтверджуються слова В. І. Вернадського, що якщо геологічні факти суперечать гіпотезі чи теорії, то останні повинні так видозмінитись, щоб все пояснити. В науці не може бути одноманіття, бо в ньому немає розвитку. Боротьба концепцій фіксизму та мобілізму дала геології пульсаційну теорію, яка сьогодні з успіхом пояснює всі відомі геологічні факти розвитку планети. А тепер задамося питанням, чи могла б концепція фіксизму без допомоги мобілізму перерости в пульсаційну теорію? Навряд чи це б сталося, у всякому разі так швидко. До чого ближче стоїть концепція пульсаційного розвитку Землі? Якщо брати до уваги тільки просторове положення і певну незмінність з часом континентів і океанів, — то до фіксизму, а якщо виходити з того, що айсберги континентів переміщуються, пульсуючи в хвилях розширення–стиснення, — то до мобілізму.

Саме при розвитку органічної концепції походження нафти та газу почали накопичуватись факти, які їй суперечили. Причому ці протиріччя концентрувалися з двома напрямками: по практичному пошуку та розробці родовищ і лабораторним експериментам. Неможливість правильно формувати напрями пошуку нових покладів нафти та газу і привели М. О. Кудрявцева до відмови від органічної гіпотези. Саме вони з П. М. Кропоткіним та своїми послідовниками на Україні В. Б. Порфір'євим, Г. Н. Доленком, І. І. Чебаненком, Г. Ю. Бойком, В. Ю. Краюшкіним та іншими розробили концепцію про глибинне, підко-

рове походження не тільки нафти та газу, а й інших родовищ корисних копалин. Послідовно відстоюючи і розвиваючи принципи розломно-блокової тектоніки [2, 3], на яких власне й базується теорія пульсацій, І. І. Чебаненко тектоно-магмо-седиментно-метаморфо-рудо-нафтоутворення назвав [1] єдиним геолого-геохімічним процесом формування та розвитку земної кори.

У відділі АҚДГ ЦАКДЗ ІГН НАНУ розроблений модернізований комплект методів (МКМ) прогнозу неафтогазоперспективних об'єктів з використанням даних дистанційного зондування Землі. АҚМ за широким комплексом аерокосмічних, морфометричних та геолого-геофізичних даних дозволяє в межах газових басейнів віділяти нові рифтогенні зони розвитку родовищ ВВ. Саме тут, відносно дов концепції О. М. Кудрявцева, будуть розміщуватись поклади ВВ з високими та стабільними дебітами.

Що потрібно для того, щоб синтез нафти відбувався? По-перше, відновлювальне середовище і активні мінеральні каталізатори, по-друге, вуглець та водень незалежно від їх походження. Як же все-таки чисто теоретичні оцінки співвідношення органічного та неорганічного генезису нафти. Дослідники Західно-Канадського (Альбертського) басейну С. Мошир та Д. Уепплз (активні послідовники біогенезису) вивчили гірські породи з викопною органікою і оцінили в них вміст керогену. Далі, використовуючи загальноприйнятну кількісну геохімічну модель біогенно-катагенного утворення нафти, підраховували, що вся викопна органіка могла б дати тільки 7 % запасів нафти, що знаходяться в надрах Атабаски, Уобаски, Піс-Рівер та Колз-Лейк [4]. Причому розрахунки робились для сумарних геологічних запасів в 220 млрд. т нафти, а зараз вони виросли більше ніж в два рази — Департамент Енергії Канади оцінює запаси в 480 млрд. Руденко А. П. та Кулакова І. І. [5] порахували, що співвідношення виходу нафти з забороненої біомаси та ювенільних вуглеводнів мантиї в природних відкритих каталітичних системах за

один і той же проміжок часу дорівнює 1/800. Вони вважають, що отримані з біомаси молекулярні фосилії (“біомаркери”) залишаються в породах як розсіяна органічна речовина, і саме вони потрапляють в абіогенну нафту на шляхах її вертикальної міграції. В той же час доведено [6], що всі відомі “біомаркери” можуть бути отримані абіогенним шляхом і не мають однозначного зв'язку з біогенним матеріалом.

За В. Б. Порфір'євим [7], нафта та газ утворюються під землею корою при високій температурі та великому тиску з космогенного водню та оксиду вуглецю за реакціями Фішера-Тропша. І оскільки розломи перетинають всю земну кору, то саме по ним мігрують рідкі та газоподібні вуглеводні, утворюючи по всьому розрізу поклади нафти та газу. Все це повністю підтверджено фактичними даними [4, 8] розвідки та експлуатації великих та гігантських родовищ світу, які мають три особливості:

1) розміщені в активних геосинклінальних зонах або поруч з ними;

2) високий поверх на тогазоносності з невстановленою нижньою границею — в верх по розрізу поклади формуються у всіх типах порід (кристалічних, магматичних, осадових) різної векторної приналежності (від кембрію до неогену) і обмежуються тільки наявністю колекторів, покриток та пасткових умов;

3) більш ніж 85% запасів нафти та газу зосереджено на глибинах 1–3 км, що складає біля 80% світових запасів.

Нижче наведено таблицю з роботи [8].

Треба сподіватись, що, саме пояснивши ці дані з геотектонічних та геодинамічних позицій, буде зрозуміло, як утворюються родовища нафти та газу і де їх треба шукати.

Що власне в геотектонічному плані уявляють собою схили підосви земної кори? Очевидно, що саме тут розвинуті шовні рифтогенні зони (ШРЗ). А. В. Чекунов в роботі [9] зазначає, що в межах скороченої земної кори при рифтингу утворюється серія окремих щільних грабенів. Оце власне і є генетична суть шовної рифтогенної зони. Закладаються вони (ШРЗ) на етапах розширення планети, коли крихка шкаралупа земної кори змушена тріскатись, пристосовуючись до збільшення об'єму верхньої мантії.

Розглянемо в тектоно-динамічному плані розвиток геосинклінальної області. За класичними уявленнями вона ділиться на центральну, евгеосинклінальну зону та зони міogeосинкліналей, що розміщені поруч. Зона евгеосинкліналі, це зазвичай, область

розвитку молодих ефузивів основного складу перемішаних з продуктами екзогенного вивітрювання блоків континентальної земної кори. Зони міogeосинкліналей складені з різновеликих блоків земної кори, роз'єднаних шовними рифтогенними зонами (ШРЗ). Завдяки такому роз'єднанню на етапі розширення планети, вони набувають певної автономності рухів і можуть самостійно переміщуватись в хвилях розширення–стиснення від центру та до центру Землі, а також горизонтально, підкоряючись ротаційній динаміці планети.

Під час епохи стиснення об'єм верхньої частини мантії, завдяки викиду високоенергетичних компонентів, зменшується, і до цього зменшеного об'єму змушена пристосовуватись земна кора (яка на попередньому етапі — під час розширення — значно збільшилась по площі). Блоки земної кори, розміщені в зонах міogeосинкліналей, починають опускатись в товщу мантії, видавлюючи в зоні евгеосинкліналі гірські системи. Таким чином, поверхня астеносфери, не сама піднімається вгору, виштовхуючи гірський масив, а робить це примусово під тиском міogeосинклінальних зон. Тому з позицій геодинаміки гірські системи дають обмежену інформацію для геодинамічного моделювання — вся повнота її може бути отримана тільки при врахуванні історії геологічного розвитку передгірських та міжгірських прогинів. В той же час в самих міogeосинкліналях поверхня астеносфери буде відносно пониженою, завдяки переміщенню вниз блоків земної кори. От ми і підійшли до головного моменту, і тепер можна пояснити, чому нафтогазові родовища тяжіють до відносно пониженої поверхні астеносфери, а газові — до відносно підвищеної. Сприятливі умови для утворення нафти виникають саме в шовних рифтогенних зонах, де до механічних умов “перетирання”, а значить примусової фільтрації ювенільних вуглеводнів через динамічно напружені осадово-магматичні товщі додаються висока температура та тиск. В зоні ж евгеосинкліналі, поруч з гірською системою, таких умов не виникає, тому й формуються родовища газу.

За даними Г. Н. Доленка [10] нафтові та нафтоконденсатні родовища зосереджені, як правило, в районах, де найбільш виражена поперечна тектонічна зональність. Ці практичні дані по нафто-газовидобутку ще раз підтверджують реальність моделі нафто- та газоутворення, викладеної вище. Поперечна зональність разом з подовжною чітко просте-

Таблиця

Розподіл великих запасів нафти залежно від тектонічних умов (за [8])

Зони розвитку великих родовищ	запаси нафти %
Структурні східники на платформених схилах прогинів та западин	50,3
Геосинклінальні схили передгірських прогинів та крайові зони міжгірських западин	21,3
Крайові зони платформених схилів та платформених западин	13,5
Внутрішня частина нафтогазоносних басейнів	11,5
Внутрішні великі підняття та інші ускладнення нафтогазоносних басейнів	3,5

жується в межах передгірських прогинів, а чим ближче до гірської споруди, поперечна зональність буде затухати, так як ми виходимо за межі автономних блоків земної кори, які її утворюють. Зате перед фронтом чітко вираженої гірської системи повною мірою проявиться поздовжня тектонічна зональність, яка й контролює зони газонакопичення.

Тяжіння нафти та газу до крутих схилів поверхні Мохоровичича (за А. В. Чекуновим, 1990) — це тяжіння їх до шовних рифтогенних зон.

Тут зразу й виникає питання, а як же підрахунок запасів і оцінка перспектив нафтогазоносних басейнів? Треба констатувати, що повної об'єктивної інформації це не дає, що й підтверджується реальними даними по нафто-газовидобутку. Всі розрахунки базуються на поняттях осадово-міграційної гіпотези органічного походження нафти та газу, яка є невірною по своїй суті. Саме вона підштовхує геологів просуватись в глибину нафтогазового басейну, вивчати нові глибокозалягаючі “перспективні” горизонти. Ясно, що й поняття перспективного горизонту втрачає свою суть, бо перспективним він може бути тільки в межах ШРЗ та ділянках, що з нею межують. Адже рухаючись з пошуками в глибину басейну, ми тим самим віддаляємось від ШРЗ, а значить і від високopersпективних ділянок. Те, що 80% світових запасів нафти зосереджено на глибинах 1–3 км, повністю підтверджує тезу ШРЗ як високо перспективних областей, що зазвичай знаходяться при виходах з басейнів і мають скорочений осадовий чохол.

З вищесказаного зовсім не виходить, що не треба вивчати весь басейн та глибокозалягаючі горизонти. Йдеться перш за все про шкалу пріоритетів та першочерговості. В цьому плані надзвичайно показова таблиця з роботи [8], де приведені світові фактичні дані. В ній досить низько (11.5%) оцінюється перспективність внутрішніх частин нафтогазоносних басейнів і ще нижче (3.5%) окремих піднятів в середині них. Ага, скажуть опоненти, так все таки нафта і газ є в середині басейнів, хоч і мало, але де ж вона там береться, якщо там немає поруч ШРЗ? По-перше, залишається співвідношення 1/800, виведене А. П. Руденком та І. І. Кулаковою, і теоретично на 800 частин абіогенної нафти може утворюватись одна частина біогенної. По-друге, не можна забувати про захоронені ШРЗ, які існували на певному тектонічному етапі. З часом такі зони повністю, або частково втратили свою автономність, але встигли сформувати поклади вуглеводнів. Які вони будуть за величиною? Очевидно, що незначні, до того ж, швидко вичерпуватимуться, не маючи свіжого підтоку вуглеводнів. Це підтверджується даними вищезгаданої таблиці, в якій також низько (13.5%) оцінюються перспективи крайових схилів платформених западин. Такі западини контролюються саме забороненими (повністю або частково) ШРЗ, які були активні на попередньому геотектонічному етапі — наприклад для ДДЗ — в девоні-карбоні. Альпійська тектоніка в

ДДЗ проявилась дуже обмежено — в основному у зоні зчленування з Донбасом.

Головне питання, на яке треба відповісти при складанні перспектив нафтогазоносності того чи іншого регіону, області, району, це через історію його геологічного розвитку висвітлити історію розвитку шовних рифтогенних зон. Наприклад в родовищі Лелюк (Канада) нафта з хорошим дебітом виявлена в силурійських рифах. Але це зовсім не означає, що поклад сформувався в палеозої. В палеозої розвинулись тільки органогенні споруди, і вже сама товщина їх до (300 м) говорить, що це був ланцюг берегових рифів, який розвивався в умовах епіконтинентального морського басейну. В подальшому ця смуга була виведена з-під рівня моря і карбонатний масив сильно видозмінився екзогенними процесами вилугування, карстоутворення тощо. Таким чином, під час герцинського тектонічного циклу було сформовано ідеальний колектор. А під час альпійського територія карбонатного масиву потратила до області розвитку молоді геосинклінали, коли й були сформовані хороші покришки та створені пасткові умови. ШРЗ, розвинута поміж молодію геосинкліналю та платформою, “накачала” Лелюк нафтою. Так що по своїй генетичній суті це молоде родовище, хоча заповнені колектори палеозою.

Очевидно треба погодитись з класиками нафтогазової геології В. Б. Порфир'євим, Г. Н. Доленком, І. І. Чебаненком, Г. Ю. Бойком та іншими, що нафта утворюється тільки на орогенних етапах розвитку земної кори, а значить під час епох стиснення. Саме тоді ж, очевидно, створюються і пасткові умови. В епохи розширення різних циклів формуються хороші колекторські товщі — спостерігаються вони в кембро-ордовіку, силур-девоні, ранній пермі, пізньому тріасі-ранній юрі, крейді та еоцені. Причому колектори кембро-ордовіка явно корелюються з відкладами апт-альбу нижньої крейди з послідовністю утворення в один глобальний галактичний цикл. В епохи розширення утворюються також хороші екрануючі товщі хемогенних осадових порід. Щодо нафти, то утворюватись з епохи розширення вона не може, так як в шовних рифтогенних зонах не виникають необхідні для цього умови, а от з газом все складніше. Дегазація верхівки мантії йде найбільш активно, завдяки максимальній розкритості поверхневого прошарку планети. Значна частина газоподібних вуглеводнів потрапляє в атмосферу, але частина може накопичуватись й в осадових товщах. Процес перетворення первинної органічної речовини в вугілля марки Т та Д повинен був закінчитись в до інверсійний період розвитку Карпат. Г. Н. Доленко робить висновок [10], що в цей час могли утворюватись і вуглеводні. Але так як зберігатись їм не було де (необхідні структурно-літологічні умови були створені на орогенному етапі), то вони розсіювались. Сам Григорій Назарович вважає, що формування структур та заповнення їх нафтою відбувалось одночасно.

Таким чином, встановлені факти нафтогазонос-

ності та аналіз різних уявлень при утворенні нафти і газу дозволяють зробити основні висновки та оцінку перспектив пошуку вуглеводнів.

Висновки

1. В роботі [9] А. В. Чекунов зазначає, що співставлення особливостей рельєфу розділу Мохо в ДДЗ з розміщенням нафтогазових родовищ свідчить про те, що вони явно тяжіють до відміток 35–40 км, маючи максимум приблизно 37.5 км. Ці відмітки характеризують схили поверхні Мохо і це значить, що саме вони у вказаному інтервалі глибин найбільш перспективні для пошуків родовищ в регіональному плані.
2. Ступінь тектонічної подрібненості розділу Мохо для Дніпровського грабену ДДЗ також вивчена в роботі [9]. Встановлено, що найбільш подрібнені саме схили розділу — в осевій частині грабену показник подрібненості менше 0.1, в напрямі до південного борту він зростає до 0.2, а до північного — набуває значень більше 0.2.
3. Зони нафтогазонакопичення [10] в ДДЗ тяжіють в просторовому плані до поперечних розломів з максимальними амплітудами переміщень і особливо до тих місць, де вони перетинаються з крайовими поздовжніми розломами.
4. Узагальнення матеріалів ГСЗ по глибинним, кореневим частинам розломів показало [9], що найбільш значні з них народжуються саме в мантиї та лише потім проникають в земну кору, подрібнюючи її та створюючи системи гілкоподібних більш мілких порушень. Далеко не завжди вони досягають поверхні, або знаходяться в полі зору горизонтів осадового чохла і затухають на певній глибині, якщо по таким деревоподібним тріщинам іде підйом ювенільних вуглеводнів, то вони принципово можуть створювати їх скупчення в окремих відгалуженнях, апофізах та апікальних частинах, що не досягли поверхні, утворюючи щось на зразок перевернутої новорічної ялинки.
5. Б. П. Кабышев, встановив [11], що структурно-стратиграфічні поклади нафти в відкладах нижньопермського-верхньокам'яновугільного комплексу ДДЗ знайдені тільки там, де є поклади в нижньокам'яновугільних відкладах, і останні пов'язані з верхніми горизонтами системою пору-

шень. Якщо таких умов немає (були опошуковані десятки перспективних площ), то не виявлено родовищ в верхньому, нафтогазоперспективному комплексі.

6. Заміна газових покладів нафтогазовими та нафтовими спостерігається в північно-західному напрямку ДДЗ (від складчастого Донбасу) і встановлена для всіх продуктивних комплексів [11].

Література

1. Чебаненко И. И. О глубоком кризисе теории органического происхождения нефти / И. И. Чебаненко // Геол. журн. — 1999. — №1 — С. 120–127.
2. Чебаненко И. И. Теоретические аспекты тектонической делимости земной коры / И. И. Чебаненко. — Киев: Наук. думка, 1977. — 82 с.
3. Чебаненко И. И. Основные закономерности разломной тектоники земной коры / И. И. Чебаненко. — К.: Из-во АН УССР, 1963. — Сер. геотектоники. — Вып. 12 — 152 с.
4. Доленко Г. Н. Происхождение нефти и газа и нефтегазонакопление в земной коре / Г. Н. Доленко. — К.: Наук. думка, 1986. — 136 с.
5. Руденко А. П., Кулакова И. И. К вопросу об абиогенном образовании углеводородов нефти и газа // Нетрадиционные вопросы геологии. VI 11 науч. семинар, февраль, 2000 г. — М.: геол. фак. МГУ, 2000. — С. 61–62.
6. Шнюков Е. Ф., Краюшкин В. А. О природе нефти (К 100-летию со дня рождения академика АН УССР В. Б. Порфирьева) / Е. Ф. Шнюков, В. А. Краюшкин // Геол. журн. — 1999. — №1. — С. 109–119.
7. Порфирьев В. Б., Гринберг И. В. Современное состояние органического происхождения нефти / В. Б. Порфирьев, И. В. Гринберг // Проблемы происхождения нефти. — К.: Наук. думка, 1970. — С. 5–52.
8. Высоцкий И. В. Нефтегазоносные бассейны зарубежных стран / И. В. Высоцкий, В. Б. Оленин, В. И., Высоцкий. — М.: Недра, 1981. — 479 с.
9. Чекунов А. В. Литосфера и нефтегазоносность территории СССР / А. В. Чекунов, Ю. К. Шукин, В. Н. Семенов [и др.] // Геофиз. журн. — 1990. — № 1 — С. 3–9.
10. Доленко Г. Н. Происхождение нефти и газа и нефтегазонакопление в земной коре / Г. Н. Доленко. — К.: Наук. думка, 1986. — 136 с.
11. Кабышев Б. П. Роль перерывов и несогласий в формировании и размещении скоплений нефти и газа в Днепровско-Донецкой впадине / Б. П. Кабышев // Геол. журн. — 1996. — №4 — С. 17–24.

КОНЦЕПЦИЯ ОБРАЗОВАНИЯ И ПОИСКА НЕФТИ ГАЗА

С. М. Єсіпович

Благоприятные условия для образования высокодебитных месторождений возникают в наиболее мобильных зонах земной коры — так называемых шовных рифтогенных зонах (ШРЗ). К механическим условиям “перетирания” и принудительной фильтрации ювенильных углеводородов через динамически напряженные толщи, обогащенные органическим веществом, добавляются условия высокой температуры и давления. Изучение ШРЗ позволяет получить уточненную структурную модель перспективного участка и определяет, в каком месте антиклинального свода надо заложить поисковую скважину.

Ключевые слова: нефтегазоносность, шовные рифтогенные зоны, ослабленные зоны, земная кора, геологические циклы

CONCEPTION OF EDUCATION AND SEARCH OF OIL AND GAZ

S. M. Jesypovich

Favorable conditions for the formation of high-output deposits occur in the most mobile areas of the crust - so-called suture rift zones (SRZ). Mechanical conditions of “grinding” and forced filtration of juvenile hydrocarbons through dynamically strained layers, rich in organic matter, are supplemented by the conditions of high temperature and pressure. Study of the SRZ provides for defining of a specified structural model of a prospecting site and determines the place for a test well in the anticline arch.

Keywords: oil-and-gas bearing, so-called suture rift zones, weak zones, the earth's crust, geological cycles

УДК 551.510:534

Довготна залежність сезонних змін загального вмісту озону в середньоширотній атмосфері північної півкулі

О. М. Євтушевський*

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

За супутниковими вимірюваннями в 1979–2011 рр. проаналізовано довготну залежність сезонних змін загального вмісту озону в широтній смузі, яка включає північну Україну та Київ. Визначено довготні межі регіонів із найбільш раннім та найбільш пізнім розвитком річного циклу вмісту озону. Результати роботи можуть бути корисними для інтерпретації спостережень з використанням спектрофотометра Добсона на станції Київ-Голосіїв та для вивчення зв'язків між змінами в озоновому шарі та регіональними змінами клімату.

Ключові слова: загальний вміст озону, супутникові вимірювання, Merged Ozone Data Set, реаналіз NCEP–NCAR, довготний розподіл, сезонні зміни

© О. М. Євтушевський, 2014

Вступ

Озон відіграє важливу роль у регулюванні потоку сонячної ультрафіолетової радіації через атмосферу, у формуванні теплового балансу тропосфери і стратосфери і, як парниковий газ, впливає на клімат та враховується при моделюванні кліматичних змін [1, 2, 6, 12, 37]. Тому в останні десятиліття вивчення варіацій вмісту озону в атмосфері стало невід'ємною частиною наукових програм у багатьох країнах.

Вимірювання загального вмісту озону (ЗВО) у вертикальному стовпі атмосфери здійснюються з 1920-х років [9]. На сьогодні наземна мережа охоплює більше 500 озонотричних станцій [13, 41]. Починаючи з 1970-х років, діють програми супутникового моніторингу [15, 38, 42], які забезпечують неперервне накопичення даних про глобальний розподіл та просторово-часові варіації ЗВО. В Україні спостереження виконуються з допомогою фільтрових озонотричів з 1970 р. [4, 28] та спектрофотометра Добсона з 2010 р. (станція Київ-Голосіїв [3, 19, 28]).

Дані, одержані в Україні, показують типові для середньоширотної зони максимальні рівні ЗВО у зимово-весняний період та мінімальні – восени. Ці сезонні коливання значною мірою визначаються рівнем накопичення стратосферного озону, спричиненого зимовим посиленням меридіонального переносу озону у стратосфері – циркуляцією Брюера–Добсона (ЦБД) та темпом наступної фотохімічної релаксації, яка триває до осені [14, 16, 30, 43]. Завдяки ЦБД, збагачені озоном стратосферні повітряні маси рухаються із тропіків у бік полюса та осідають над позатропічними широтами. Це призводить до утворення додатного градієнта ЗВО між тропічним та полярним регіонами.

Для вертикального розподілу озону в атмосфері характерним є максимум концентрації у стратосфері на висотах 10–25 км [1, 12]. За умов зростання температури з висотою та горизонтальної стратифікації шарів повітря, для стратосфери, на відміну від тропосфери, не властиві інтенсивні вертикальні рухи. Тут відбувається повільне осідання повітря на низхідній ланці ЦБД, яке й зумовлює поступове зростання концентрації озону в нижній стратосфері у зимово-весняні місяці. Накопиченню озону сприяє і суттєве обмеження тропопаузою (на висотах 8–10 км у позатропічних широтах) осідання повітряних мас. Проте на рівні тропопаузи можливі процеси стратосферно-тропосферного обміну речовиною, і підвищений вміст озону у нижній стратосфері відіграє помітну роль у варіаціях хімічного складу тропосфери та відзначених вище кліматичних змінах [6, 12, 21, 37].

Сезонний хід вмісту озону вивчено досить добре як за локальними наземними, так і за глобальними супутниковими спостереженнями. Проте, у першому випадку, нерівномірність географічного покриття призводить до зосередження уваги на регіонах з найбільш густою сіткою станцій – як, наприклад, у Європі [7, 25, 34]. У другому випадку, масиви глобальних даних для аналізу сезонних змін ЗВО зазвичай подають у вигляді зонально-усереднених часових рядів. Таке представлення супутникових вимірювань добре відтворює широтну залежність сезонного ходу ЗВО [14, 29], але при цьому втрачаються його регіональні особливості.

Слід відзначити, що інтенсивність ЦБД залежить від активності планетарних хвиль, яка є характерною властивістю динамічних процесів в атмосфері зимової півкулі [16, 22, 30, 35, 37]. Крім того, квазі-стаціонарна складова планетарних хвиль (КСХ) спричинює стійкі аномалії атмосферної циркуляції в тропосфері та стратосфері [17, 22], що також впли-

* e-mail: o_evtush@ukr.net

ня тропопаузи також сприяє підвищенню вмісту озону у стратосферній частині вертикального стовпа атмосфери [22].

Обидва фактори мають сезонний характер, спричинений змінами активності планетарних хвиль в атмосфері північної півкулі. При цьому існує певний часовий зсув між тропосферними та стратосферними процесами [23]. Але систематичного вивчення відносного внеску тропосфери та стратосфери у річний цикл ЗВО у залежності від довготи не проводилося. Такі співвідношення є важливими у зв'язку з виразною регіональністю у змінах клімату. Хоча взаємозв'язки між змінами озону та змінами клімату інтенсивно досліджуються останнім часом [6, 12, 31, 37], але залишається невизначеність в оцінках ролі окремих факторів, зокрема динамічних та хімічних процесів в атмосфері [12]. До таких факторів можна віднести сезонні зміни концентрації озону в стратосфері, внаслідок яких температурний режим стратосфери також зазнає змін. Це впливає на інтенсивність зональної циркуляції в стратосфері, на розповсюдження і розпад планетарних хвиль, а також на стратосферно–тропосферний обмін в певних регіонах в залежності від сезону [37]. Останній фактор, через вплив озону як парникового газу на радіаційний баланс тропосфери, безпосередньо причетний до формування регіонального клімату і, як вже відзначалося, до глобальних кліматичних змін [12, 21].

В роботі [11] було звернуто увагу на регіональні особливості сезонних змін озону. Статистичний аналіз супутникових даних показав, що аномалії сезонних змін ЗВО вздовж широтної зони 40–60°N пов'язані з аномаліями його довготного розподілу. Це особливо виразно проявляється у настанні сезонного мінімуму, час якого в окремих регіонах може відрізнятись на два–три місяці. Наведені нижче результати одержано з метою точнішого визначення довготного положення цих регіонів на широтах північної України (50–55°N) та для оцінки можливого впливу найближчих центрів дії в атмосфері на сезонні зміни ЗВО в районі станції Київ–Голосіїв (50.4°N, 30.5°E; станція зареєстрована Всесвітньою метеорологічною організацією під № 498 [28]).

Методика аналізу та використані дані

Для інтерпретації варіацій ЗВО у певному регіоні (від щоденних до міжрічних та довготривалих) прийнято опиратися на середні кліматичні норми для кожного місяця [4, 5]. Тривалість практично неперервних рядів супутникових вимірювань, починаючи з 1979 р., перевищує 30-річний інтервал, необхідний для виведення усереднених кліматичних показників [13, 38, 39, 42]. Попередні дослідження сезонного ходу ЗВО, як відзначено вище, ґрунтувалися на даних вимірювань в окремих регіонах [7, 23,

25, 34, 36] або на зонально-усереднених супутникових даних [14, 29]. В цій роботі методику [11] застосовано для послідовного аналізу сезонності ЗВО з кращим просторовим розділенням. Використано дані реаналізу Merged Ozone Data Set (MOD), в якому об'єднані результати вимірювань супутниковими спектрометрами SBUV та TOMS із застосуванням 8-ї версії алгоритму опрацювання спостережень ([27], http://acd-ext.gsfc.nasa.gov/Data_services/merged/).

У цій роботі вибрано варіант сітки 5° × 10° по широті та довготі, розроблений в одній із модифікацій реаналізу, що охоплює період 1979–2011 рр.: MOD Revision 5 final version (http://acd-ext.gsfc.nasa.gov/Data_services/merged/previous_mods.html). Оскільки в реаналізі MOD немає зони, центрованої на широту Києва (~50°N), вибрано прилеглу до Києва зону 50–55°N, куди потрапляє північна частина України в межах довгот 24–36°E. Таким вибором широтної зони передбачалося підвищення чутливості довготного розподілу ЗВО до меридіональних збурень, викликаних КСХ, враховуючи зростання їх амплітуди від середніх широт до високих. Досліджувані сегменти площею 5° × 10° мають горизонтальні розміри 550 км × 700 км по широті та довготі, відповідно. Це дозволило ототожнити регіони аномалій та перехідні області між ними точніше, ніж у [11], де проаналізовано зону 40–60°N з кроком по довготі 30°.

Реаналіз MOD забезпечує ряди щоденних значень ЗВО для озонOMETричних станцій наземної мережі (Daily Merged Overpass data, <ftp://toms.gsfc.nasa.gov/pub/sbuv/MERGED/>), і в цій роботі використано часові ряди для станції Київ–Голосіїв за 1979–2011 рр. Для визначення зв'язків аномалій сезонних змін ЗВО з тропосферними аномаліями, використано геопотенціальні висоти (ГПВ) на рівні тиску 500 гПа (~6 км) та висоти тропопаузи за даними реаналізу NCEP–NCAR ([24], <http://www.esrl.noaa.gov/psd/cgi-bin/data/composites/printpage.pl>).

Рівні ЗВО подаються в одиницях Добсона (ОД; 1 ОД = 2.69×10^{16} молекул $\times \text{см}^{-2}$ [22]), які характеризують товщину озонового шару. Наприклад, 300 ОД відповідають шару озону в 3 мм, якщо весь озон зосередити біля поверхні Землі при стандартному атмосферному тиску (105 Па) і температурі (0°C) [12]. Для ілюстрації річного циклу озону у північній півкулі, на рис. 1 показано середньомісячні розподіли ЗВО упродовж 2013 р. Використано дані поточних супутникових вимірювань спектрометром OMI, <http://www.temis.nl/protocols/O3global.html>, оскільки реаналіз MOD не містить архіву зображень географічного розподілу озону.

Вибраний для аналізу інтервал широт 50–55°N позначено кільцем на зображенні поля ЗВО для грудня. Радіальні поділки, нанесені через 10° по довготі, показують положення 36 досліджуваних сег-

ментів. Значне підвищення рівнів ЗВО у середніх і високих широтах в зимові та весняні місяці (грудень–травень на рис. 1) є проявом сезонного посилення активності планетарних хвиль [20] та пов'язаного з цим посилення ЦБД і поступового накопичення стратосферного озону [16, 30, 43].

На широтах північної України (у виділеній зоні 50–55°N) найнижчі рівні близько 300 ОД можна відзначити в осінні місяці, а найвищі – близько 500 ОД – у березні. Добре видно асиметрію відносно полюса у просторовому розподілі ЗВО. Київ (білий кружок на рис. 1) не потрапляє в область найвищих середньомісячних значень ЗВО, які найчастіше зосереджуються в секторі 90–180°E. Це область дії Алеутського циклону і прояв другого важливого фактора у сезонних змінах ЗВО, відзначеного вище, – впливу тропосферних аномалій тиску через тропопаузу на вміст озону у нижній стратосфері. Оскільки

тропосферні центри дії мають властиву для них сезонність, яка відрізняється від сезонності в стратосферному озоні, аналіз спрямовано на розмежування внеску тропосферної та стратосферної динаміки у сезонні зміни ЗВО на широтах 50–55°N.

Результати посегментного аналізу

Загальну статистику проаналізованих даних представлено на рис. 2. Усереднені за 1979–2011 рр. криві сезонного ходу у кожному з 36 сегментів широтної зони 50–55°N показані на рис. 2а. Добре помітно зсув кривих до початку року при зростанні рівнів ЗВО, відзначений у [11, 23]. Наприклад, виділені жирні криві 2 на рис. 2а характеризують три 10-градусні сегменти, де найвищі рівні ЗВО спостерігаються практично впродовж усього року. Високий вміст озону над цими сегментами поєднується

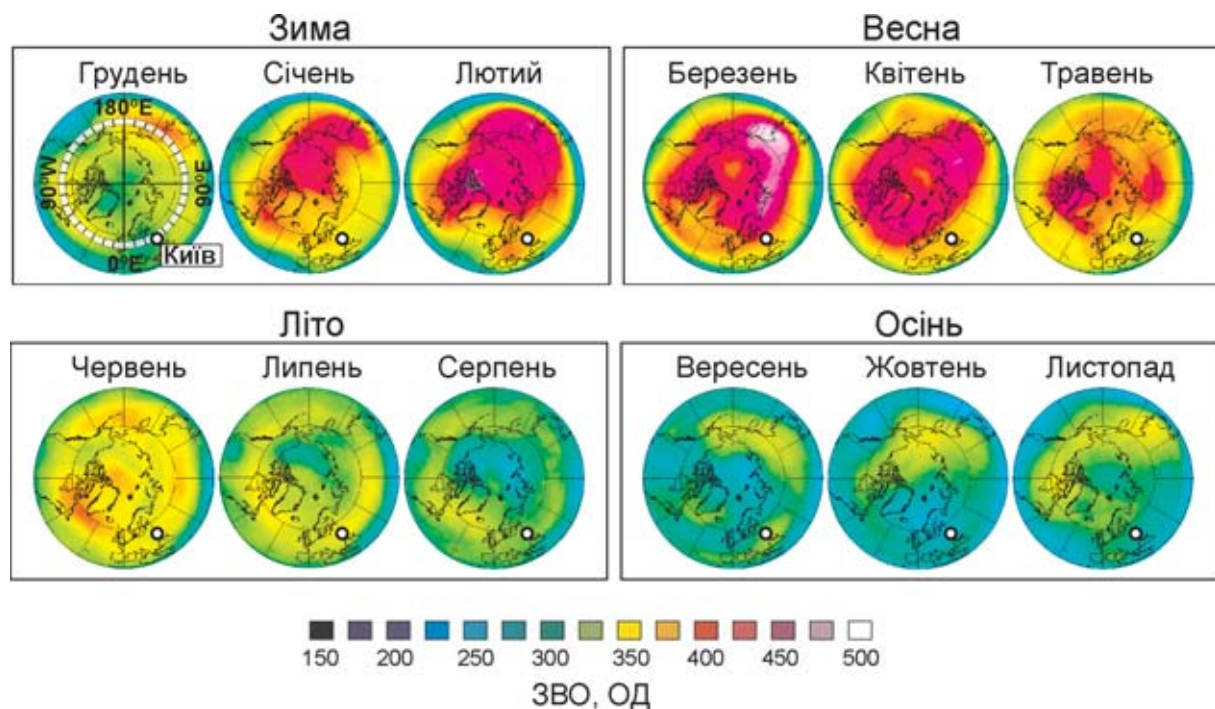


Рис. 1. Середньомісячні поля загального вмісту озону в атмосфері північної півкулі (30–90°N) за поточними вимірюваннями супутниковим спектрометром OMI у 2013 р. Радіальні поділки, нанесені з кроком 10° по довготі в інтервалі широт 50–55°N (білі кільця), показують 36 досліджуваних сегментів. Усереднені криві сезонного ходу ЗВО для кожного сегмента визначено за період 1979–2011 рр., наявний в даних реаналізу MOD. Білим кружком позначено географічне положення Києва

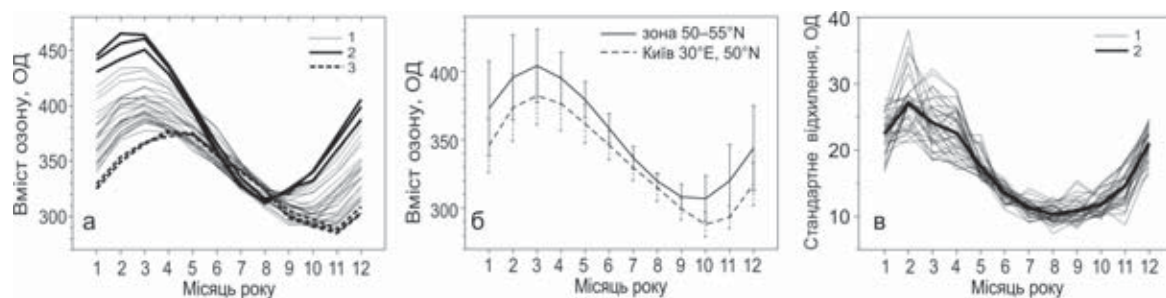


Рис. 2. Середні кліматичні характеристики сезонних змін ЗВО за період 1979–2011 рр.

а) 1 – криві для 36 сегментів уздовж зони 50–55°N з виділеними: 2 – трьома максимальними та 3 – трьома мінімальними амплітудами річного циклу ЗВО; б) сезонний хід, усереднений за для зони 50–55°N (суцільна крива) та за локальними даними для Києва (пунктирна крива); в) стандартні відхилення середньомісячних значень ЗВО: 1 – криві для 36 сегментів, 2 – усереднена крива для зони 50–55°N

ся з найбільшою амплітудою річного циклу та із настанням максимумів (мінімумів) на два (три) місяці раніше, ніж у випадку сегментів з низьким вмістом озону (пунктирні криві 3).

Із рис. 2а можна зробити висновок, що у зростання амплітуди річного циклу більший внесок дає зростання рівнів ЗВО у максимумі – до ~450 ОД, порівняно з 370 ОД у випадку низьких рівнів ЗВО (криві 2 та 3, відповідно). Як відзначено за даними рис. 1, внаслідок зональної асиметрії найвищі рівні ЗВО спостерігаються в області Алеутського циклону. Отже, з цим регіоном можна попередньо ототожнити і найбільшу амплітуду сезонних коливань ЗВО із швидким зниженням у квітні–серпні та раннім настанням мінімуму (криві 2 на рис. 2а). В наступному розділі будуть наведені результати визначення довготних меж регіонів з типовими (близькими до середньозональних кліматичних норм) та аномальними сезонними змінами ЗВО у досліджуваній зоні 50–55°N.

Усереднені для цієї зони сезонні зміни ЗВО на рис. 2б порівнюються з локальними змінами для Києва за даними MOD Daily Merged Overpass (суцільна та пунктирна криві, відповідно). Видно, що обидві криві мають близьку до синусоїдальної форми з максимумами у березні. Середній зональний мінімум спостерігається дещо раніше (вересень–жовтень), ніж локальний мінімум для Києва (жовтень–листопад). Усереднена крива для зони 50–55°N на рис. 2б практично повторює криву для зони 40–60°N в роботі [11, Fig. 1] і лише на $\leq$ ОД зсунута вгору. Зсув у бік вищих значень ЗВО пояснюється висхідним градієнтом ЗВО в бік полюса (див. вступний розділ) та широтним положенням зони 50–55°N, яка в середньому розташована північніше зони 40–60°N (52.5°N проти 50°N, відповідно).

Крива для Києва розташована нижче зональної кривої для 50–55°N на 20–25 ОД у осінні і зимові місяці та на 5–10 ОД у літні місяці (рис. 2б). Нижчі рівні ЗВО над Києвом також узгоджуються з відзначеною тенденцією в меридіональному градієнті (зниження в бік екватора), оскільки широта Києва (~50°N) припадає на південний край досліджуваної зони (50–55°N). Змінна різниця рівнів ЗВО упродовж року між кривими на рис. 2б зумовлена змінами інтенсивності меридіональної циркуляції (ЦБД), яка є мінімальною в літні місяці. Це спричинює сезонне зменшення меридіонального градієнта ЗВО, що й позначається на зближенні кривих в літній сезон.

Стандартні відхилення від середніх значень ЗВО за період 1979–2011 рр. (сімейство кривих для 36 довготних сегментів на рис. 2в) не показують помітного часового зсуву у сезонних змінах уздовж зони, характерного для змін ЗВО на рис. 2а. На рис. 2в видно лише сильну змінність ЗВО у січні–квітні ($\sigma = 20\text{--}30$ ОД) та вдвічі слабшу змінність у літній та осінній сезони ($\sigma = 10\text{--}15$ ОД). В середньому для

зони 50–55°N (жирна крива на рис. 2в) сезонний хід стандартного відхилення на один–два місяці випереджає сезонний хід ЗВО (суцільна крива на рис. 2б) і є ближчим до сезонності у змінах активності КСХ, які генеруються в тропосфері [14, 20, 30, 35, 43).

Потік хвильової енергії із тропосфери у стратосферу досягає максимуму у зимовий період (пікові значення у січні) та мінімуму у літні місяці [20, 35]. Тропосферні аномалії тиску, спричинені КСХ, мають такий же характер сезонності, загалом, близький і до річного циклу тропосферної температури. В такому разі стандартні відхилення ЗВО на рис. 2в (жирна крива) з максимумом у лютому та мінімумом у серпні можуть вказувати на значний тропосферний вплив (ефект тропопаузи) на змінність ЗВО упродовж року.

Як відзначалося у Вступі, зміни потоку енергії КСХ в стратосферу позначаються на інтенсивності меридіонального переносу, яка, в свою чергу, впливає на концентрацію стратосферного озону в позатропічних широтах. Але відгук на зміни інтенсивності ЦБД стає помітним у процесі поступового накопичення озону. Тому запізнення річного циклу ЗВО (рис. 2б) відносно річного циклу хвильової активності можна віднести до стратосферного впливу – інерційності проявів ЦБД в концентрації стратосферного озону.

На рис. 2в максимум стандартного відхилення розширений на весняні місяці березень–квітень, а мінімум – на осінні місяці вересень–листопад. Це також можна пояснити внеском стратосферних процесів у міжрічну змінність ЗВО (через змінну інтенсивність ЦБД та її вплив на рівень накопичення стратосферного озону). Таким чином, середньозональні дані на рис. 2б (суцільна крива) та рис. 2в (жирна крива) дозволяють якісно розмежувати тропосферні та стратосферні фактори у розвитку річного циклу ЗВО та в змінності ЗВО упродовж року.

Для позатропічних широт північної півкулі запізнення річного циклу ЗВО відносно змін хвильової активності прив'язують до часу транспортування аномалій ЦБД з тропічної зони і оцінюють у 3–6 місяців [35, 40]. Але щодо часу транспортування наведені дані є приблизними, тому що швидкості руху на меридіональній та низхідній ділянках ЦБД різні і змінюються як по широті, так і по висоті. В рамках даної роботи цей параметр ЦБД не може бути надійно охарактеризованим. В межах досліджуваної нами широтної зони відставання усереднених сезонних змін ЗВО (рис. 2б, суцільна крива) на 1–2 місяці відносно сезонності КСХ [20, 35] можна інтерпретувати як часову характеристику динамічного накопичення озону безпосередньо в нижній стратосфері (на низхідній ділянці ЦБД), безвідносно до часу транспортування. В наступному розділі докладніше розглянуто межі часового зсуву річного циклу ЗВО в залежності від довготного положен-

ня та меж регіональних аномалій циркуляції в тропосфері та стратосфері.

Регіональні особливості сезонних змін ЗВО

Аналіз наведених на рис. 3 результатів показує, що внесок тропосферних і стратосферних аномалій циркуляції в сезонні зміни ЗВО можна розділити, диференціюючи дані для 36 сегментів зони 50–55°N, узагальнено представлені на рис. 2а та 2б.

В окремих регіонах суміжні 10-градусні сегменти показують практично ідентичні криві річного циклу ЗВО (рис. 3а–3г). Відхилення між кривими в кожному з чотирьох прикладів становить 3–10 ОД,

тобто 1–3% у відносних одиницях. Ці результати представляють кліматичні норми за період 1979–2011 рр. Тому послідовність результатів на рис. 3а–3г надійно засвідчує як стійкість сезонних змін в межах кожного з чотирьох регіонів, так і тенденцію зміщення річного циклу ЗВО до початку року при зростанні його амплітуди. Як відзначено в попередньому розділі, зростання амплітуди відбувається переважно за рахунок максимальних рівнів ЗВО. Наприклад, при зростанні максимуму від ~375 ОД (рис. 3а) до ~460 ОД (рис. 3г) він зміщується в середньому на два місяці: з квітня–травня на лютий–березень, відповідно. Для сезонного мінімуму часовий зсув удвічі більший і становить 4 місяці – з листопада на серпень, відповідно.

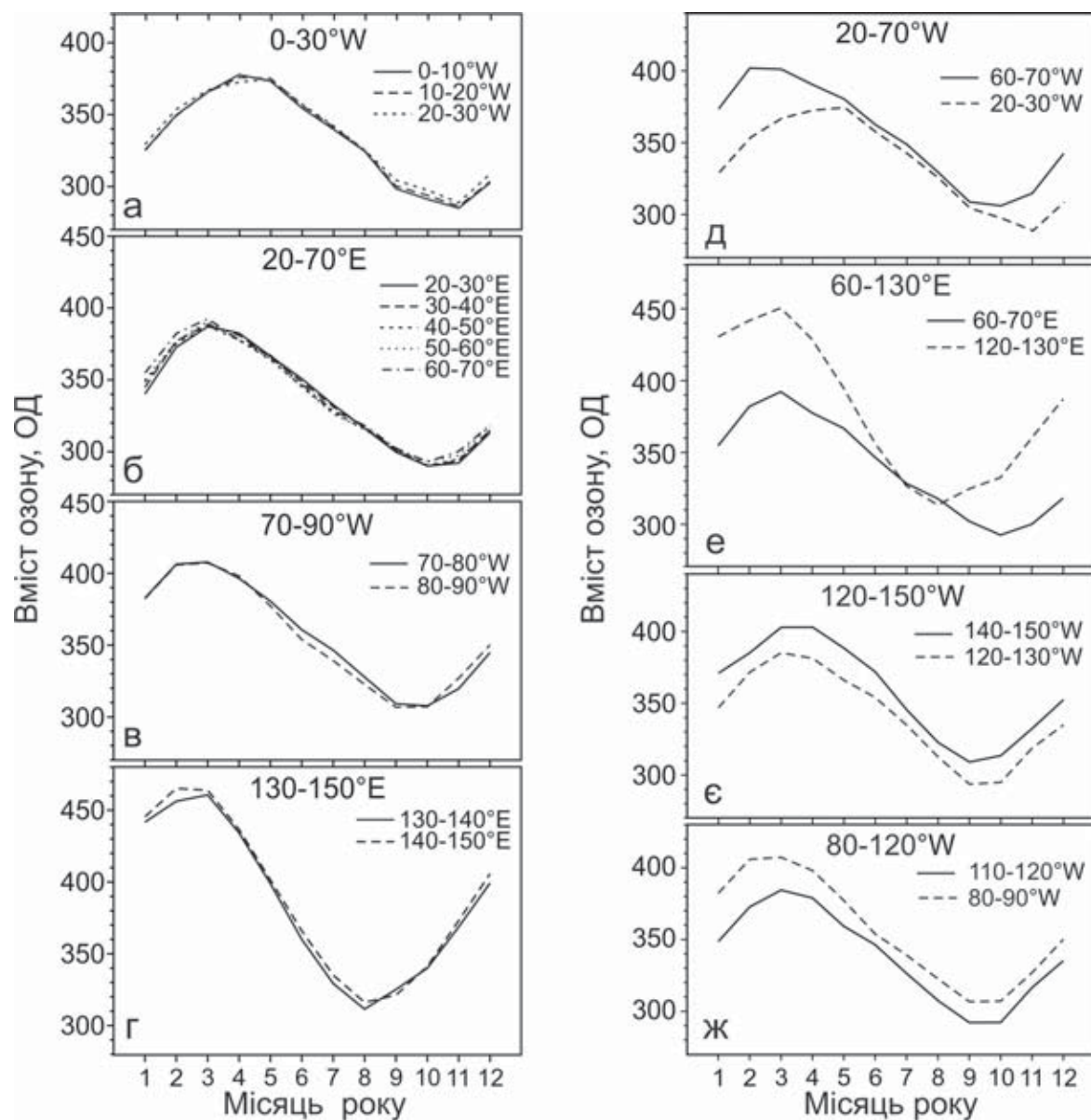


Рис. 3. Довготна залежність сезонних змін ЗВО уздовж зони 50–55°N. а–г) зміщення річного циклу до початку року при зростанні регіонального річного максимуму ЗВО; д–ж) зміни річного циклу ЗВО від західного до східного краю регіонів (суцільна та пунктирна криві, відповідно) з довготними градієнтами ЗВО. На кожному графіку вказано довготне положення 10-градусних сегментів (справа) та загальну довготну протяжність регіонів (вгорі)

Зіставивши довготні межі цих регіонів з розподілом ЗВО, висоти тропопаузи та геопотенціальних висот уздовж зони (рис. 4), можна визначити, які регіональні умови впливають на стійкість річного циклу ЗВО та на часовий зсув його екстремумів. Слід зауважити, що наведені багаторічні дані чітко виявляють протилежні відхилення у довготному розподілі ЗВО (рис. 4а), з одного боку, та висоти тропопаузи і геопотенціальних висот у середній тропосфері (рис. 4б та 4в, відповідно), з іншого боку.

Ці співвідношення ілюструють залежність довготного розподілу озону від впливу квазістаціонарної складової планетарних хвиль, відому з попередніх досліджень [10, 11, 22, 23, 26, 32]. Над регіонами низького тиску (Ісландський та Алеутський цикли, ІЦ та АЦ, відповідно, на рис. 4в), порівняно з регіонами підвищеного тиску (Азорський та Канадський антициклони, АА та КА, відповідно, на рис. 4в), тропопауза в зимовий, весняний та осінній сезони на 1–2 км нижча (криві 1, 2 та 4 на рис. 4б). Протилежні відхилення спостерігаються в розподілі значень ЗВО (рис. 4а).

В середньоширотній атмосфері північної півкулі зональна асиметрія пов'язана із впливом КСХ із зональними хвильовими числами $m = 1$ та $m = 2$ (КСХ-1 та КСХ-2, відповідно), як наслідок розподілу теплових та орографічних джерел планетарних хвиль, спричиненого, в свою чергу, розподілом океанів, континентів та аномалій тиску [22, 26, 33]. Завдяки розповсюдженню планетарних хвиль у стратосфері, довготна структура КСХ-1 та КСХ-2 відтворюється і в розподілі озону [22, 33]. Це основний та вторинний максимуми на довготах 140–160°E та 280–300°E (рис. 4а), тобто в областях впливу Алеутського та Ісландського стаціонарних циклонів, відповідно (АЦ та ІЦ на рис. 4в).

Посезонне усереднення, представлене кривими на рис. 4а та 4б, демонструє не лише ефект тропопаузи у довготному розподілі ЗВО (як прояв активності КСХ в тропосфері), а й згаданий вище ефект часового зсуву у сезонних змінах. Так, наприклад, амплітуда хвильового збурення в довготному розподілі висоти тропопаузи та ЗВО (дія КСХ) є мінімальною в літній сезон (криві 3 на рис. 4а та 4б), а максимальною — у зимовий (криві 1 на рис. 4а та 4б). У випадку тропопаузи для цих сезонів властиві найвищі та найнижчі середньозональні рівні (оцінюючи за взаємним розташуванням кривих 1 та 3, відповідно, у порівнянні з кривими 2 та 4 на рис. 4б). Це узгоджується також і з річним циклом температури повітря в тропосфері, який супроводжується підняттям тропопаузи в теплий сезон та зниженням у холодний.

Отже, в середніх кліматичних даних *довготний розподіл ЗВО* відбиває структуру КСХ в тропосфері та на рівні тропопаузи (*тропосферний вплив*). Проте середні для зони екстремуми ЗВО досягаються на сезон пізніше: максимальні рівні припадають

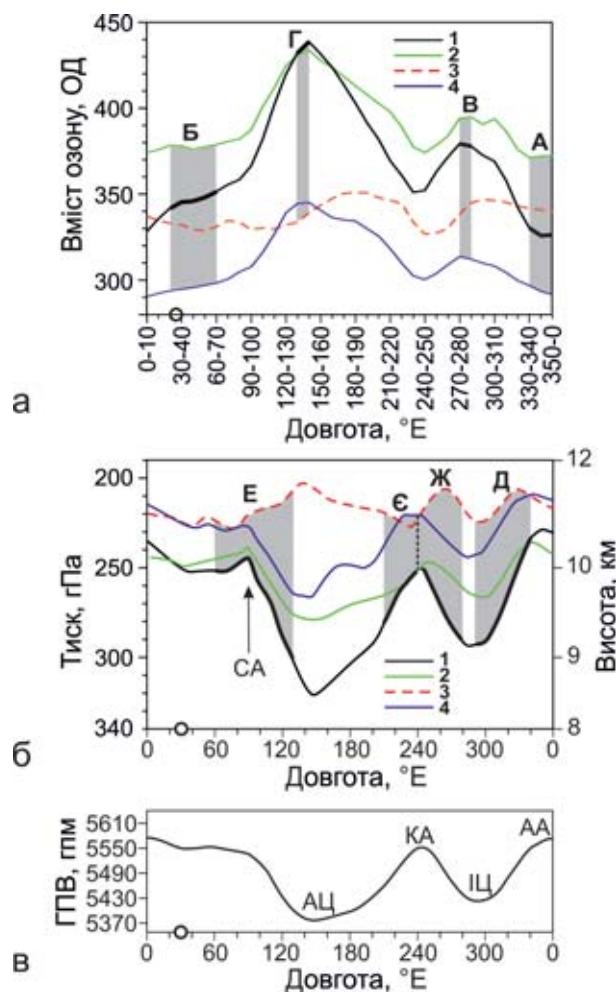


Рис. 4. Довготний розподіл, усереднений на кожен сезон року для: а) ЗВО за даними реаналізу MOD для 36 десятиградусних сегментів уздовж зони 50–55°N, 1979–2011 рр.; б) висоти тропопаузи на широті 50°N, кліматологія реаналізу NCEP–NCAR, 1981–2010 рр.; СА – Сибірський антициклон; на (а) та (б): 1 – зима, 2 – весна, 3 – літо, 4 – осінь; жирні фрагменти на кривих 1 позначають рівні ЗВО та тропопаузи, відповідно, у сегментах, виділених сірими вертикальними смугами. в) Середньорічний довготний розподіл геопотенціальних висот на рівні тиску 500 гПа для широти 50°N (регіони: АЦ – Алеутський циклон, ІЦ – Ісландський циклон, КА – Канадський антициклон, АА – Азорський антициклон)

на весну, а мінімальні – на осінь (криві 2 та 4, відповідно, на рис. 4а). Як зазначено вище, такий *часовий зсув у сезонності ЗВО* пов'язують з інерційністю дії ЦБД (*стратосферний вплив*).

Чотири довготні сегменти, представлені кривими річних циклів ЗВО на рис. 3а–3г, позначено сірими вертикальними смугами А–Г, відповідно, на рис. 4а. Стійкість сезонних змін у сегменті Б (20–70°E, п'ять кривих на рис. 3б) спостерігається в межах порівняно малоградієнтних ділянок довготних профілів ЗВО, тропопаузи та ГПВ (рис. 4). В сегментах А, В та Г також існують незначні довготні градієнти поблизу довготних екстремумів, що пояснює формування практично ідентичних кривих сезонних змін на рис. 3а, 3в та 3г. Проте ці сегменти мають порівняно малу довготну протяжність, яку вибрано з урахуванням положення основних екстремумів на рис. 4.

Видно, що часовий зсув сезонних екстремумів до початку року в послідовності кривих від рис. 3а до рис. 3г чітко узгоджується зі зростанням ЗВО у сегментах А–Г з посезонним усередненням (рис. 4а). Наприклад, якщо оцінювати для зимового сезону, коли найбільшою стає амплітуда КСХ, рівні ЗВО зростають приблизно на 100 ОД – 330, 350, 380 та 430 ОД, відповідно (потовщені ділянки кривої 1 на рис. 4а). Географічно послідовність сегментів А, Б, В та Г охоплює регіони Азорського антициклону, Європи, Ісландського та Алеутського циклонів, відповідно.

На рис. 4б, у свою чергу, сірими вертикальними смугами виділено довготні сегменти Д–Ж, в межах яких, за даними рис. 3д–3ж, відповідно, відбувається помітна перебудова річних циклів ЗВО. Видно, що сегменти Д–Ж припадають на круті довготні градієнти, присутні також і на кривих для тропопаузи (рис. 4б) та для ГПВ (рис. 4в). Тому за відмінності сезонного ходу ЗВО на рис. 3д–3ж відповідальними є, перш за все, регіональні аномалії атмосферного тиску.

Європейський сегмент (20–70°E). При загальній довготній протяжності 50° сегмент Б виглядає найменш збуреним зональними аномаліями (рис. 4а–4в). Проте низький рівень ЗВО свідчить про переважання антициклонічного впливу. Дійсно, на заході ближчим по довготі є Азорський антициклон (0–30°W), а на сході – Сибірський антициклон (СА; середнє положення в зимовий період 45–55°N, 90–100°E, а ізобара 1020 гПа простягається до 40°E [18]). Найбільш виразно дію СА помітно в піднятті тропопаузи на рис. 4б (крива 1, позначено вертикальною стрілкою).

Сегмент Б включає Київ та частково північну Україну. Міжрічні зміни інтенсивності АА та СА можуть позначатися на довготному розподілі ЗВО над Європою і, зокрема, виявлятися в аномаліях сезонного ходу за вимірюваннями на станції Київ-Голосіїв (рис. 4, положення станції позначено кружком на горизонтальній осі). Втім, АА входить до субтропічного поясу високого тиску зі слабкими сезонними коливаннями аномалій. Наприклад, в центрі АА тиск на рівні моря за багаторічним усередненням становить 1022–1025 гПа як у літні, так і в зимові місяці. У випадку СА – середньширокої аномалії тиску – зимовий максимум досягає 1030–1035 гПа проти ~1010 гПа влітку (значення тиску для АА та СА одержано з реаналізу NCEP–NCAR; див. також [18]). Тому сезонність ЗВО в європейському регіоні може бути під більшим впливом від сезонних змін в розвитку східної антициклонічної аномалії в тропосфері (СА), ніж західної (АА).

Варто зауважити, що область довготного мінімуму ЗВО формується не лише завдяки антициклонічному впливу (АА та СА), але і внаслідок зональної асиметрії в ЦБД, яка має в цьому регіоні мінімальну інтенсивність [17]. Можливо, такий збіг (піднята тропопауза над антициклонічними аномаліями припадає

на зональний мінімум ЦБД) пов'язаний з вертикальною структурою КСХ в тропосфері та стратосфері. Проте, спільні риси в розподілі тропосферних та стратосферних аномалій та їх вплив на розподіл ЗВО досліджені недостатньо. Ми звертаємо увагу на вказаний збіг через його роль в динаміці озону над європейським регіоном. Зокрема, руйнування озону у нижній стратосфері над піднятою тропопаузою та зниження ЗВО тривають до листопада, а ефекти накопичення озону (в умовах слабкої інтенсивності ЦБД) стають помітними ще пізніше, в грудні (рис. 3б).

Алеутський циклон. В межах азійського сегмента Е (60–130°E, позначено сірою вертикальною смугою та потовщенням кривої 1 на рис. 4б), зимова тропопауза при наближенні до Алеутського циклону знижується приблизно на 1 км порівняно з європейським сегментом Б. Зниженню зимової тропопаузи в сегменті Е відповідає зростання ЗВО на 70 ОД (крива 1 на рис. 4а, ділянка між сегментами Б та Г), а в сегменті Г досягається основний зональний максимум ЗВО (?430 ОД). Сезонні зміни в області дії Алеутського циклону (120–150°E) показані на рис. 3г та пунктирною кривою на рис. 3е.

Швидке зниження ЗВО з квітня по серпень є проявом сезонного ослаблення АЦ (з відповідним підняттям тропопаузи) у відповідності з наближенням літнього мінімуму КСХ. Тому сезонний мінімум ЗВО в області АЦ можна пов'язати з літнім мінімумом хвильової активності. Криві 3 на рис. 4а та 4б дійсно показують, що, як в області АЦ, так і загалом уздовж зони, значні аномалії тиску та ЗВО у літній сезон відсутні. Зниженню ЗВО з весни до літа сприяє і ослаблення меридіонального транспорту озону, яке також пов'язане із зміною потоку хвильової енергії у стратосферу. Залишкові ефекти меридіонального транспорту можуть спостерігатися до початку літа (див. зображення для червня на рис. 1).

Настання річного мінімуму ЗВО відбувається тоді, коли описані тенденції в розвитку АЦ та ЦБД починають змінювати напрям на протилежний. У тропосфері і стратосфері час такої зміни відрізняється. Інтенсифікація КСХ розпочинається восени, і зниження тиску та висоти тропопаузи в області АЦ (як елемента КСХ-2) сприяє підйому ЗВО вже з вересня (рис. 3е, пунктирна крива). Через запізнення проявів ЦБД, їх внесок у зміни вмісту озону в осінній сезон (стратосферний вплив) практично відсутній, тому літньо–осінній період річного циклу ЗВО над регіоном АЦ визначається переважно тропосферним впливом.

Відзначимо для порівняння, що за усередненими даними початок сезонного зростання ЗВО в області АЦ, як результат тропосферної динаміки, спостерігається з вересня (рис. 3г). В європейському ж сегменті цей процес, як прояв стратосферної динаміки (розвитку наступного сезону інтенсифікації ЦБД), стає помітним лише з грудня (рис. 3б), на три місяці пізніше.

Ісландський циклон та Азорський антициклон. Запізнення в розвитку річного циклу чітко помітне також при переході між областями впливу ІЦ та АА (між 70°W та 20°W , рис. 3д). Як компоненти північноатлантичного коливання (North Atlantic Oscillation), обидва центри дії досягають найбільшої потужності у зимовий сезон [8]. Проте, як відзначалося вище, сезонність у субтропічному поясі високого тиску, де розташований центр АА, незначна. Це відрізняє вплив субтропічного АА на досліджувану зону широт від впливу аномалій на вищих широтах, зокрема ІЦ та АЦ, де чітко виражена сезонність КСХ.

У довготному інтервалі $20^{\circ}\text{--}70^{\circ}\text{W}$ (Атлантичний океан) існує крутий градієнт ГПВ та висоти тропопаузи (сегмент Д на рис. 4б). Внаслідок підняття тропопаузи над Азорським антициклоном утворюється основний зональний мінімум ЗВО, який у досліджуваній зоні у всі сезони, крім літнього, припадає на інтервал довгот $0^{\circ}\text{--}30^{\circ}\text{W}$ (рис. 3а та сегмент А на рис. 4а). Пунктирна крива для сегмента $20^{\circ}\text{--}30^{\circ}\text{W}$ на рис. 3д показує, що тут часовий зсув охоплює весь річний цикл ЗВО — максимум настає в травні, а мінімум у листопаді. Це означає, що фотохімічна релаксація озону до рівноважних концентрацій та відповідне зниження ЗВО над піднятою тропопаузою (як відзначено вище для європейського сегмента) можуть тривати до листопада. За часом настання екстремумів (рис. 3д) запізнєння у випадку АА (порівняно з ІЦ) становить в середньому 2 місяці. Цей приклад є свідченням найпізнішого розвитку річного циклу ЗВО у досліджуваній широтній зоні (див. також рис. 3а для сегмента $0^{\circ}\text{--}30^{\circ}\text{W}$).

Канадський антициклон. В області впливу КА ($\sim 240^{\circ}\text{E}$, рис. 4в) спостерігаються лише зміни рівнів ЗВО без значних часових зсувів сезонного ходу (рис. 3е та 3ж). У цьому випадку, на відміну від сегментів Е та Д, сегменти Є та Ж розташовані симетрично відносно середньої довготи КА (рис. 4б). Тому тут можна відзначити лише різницю в часі настання сезонного максимуму в західному сегменті $140^{\circ}\text{--}150^{\circ}\text{W}$ (березень–квітень, суцільна крива на рис. 3е) порівняно із східним сегментом $80^{\circ}\text{--}90^{\circ}\text{W}$ (лютий–березень, пунктирна крива на рис. 3ж). В останньому випадку близькість Ісландського циклону та відповідного довготного максимуму ЗВО може впливати на дещо прискорене досягнення максимальних рівнів ЗВО.

Сибірський антициклон. Криві на рис. 3е дозволяють пояснити аномально тривалий сезонний мінімум в інтервалі довгот $90^{\circ}\text{--}120^{\circ}\text{E}$, одержаний у роботі [11] (жирна крива на Fig. 2b) при аналізі з нижчою роздільною здатністю по довготі. Ранній початок сезонного мінімуму в останньому випадку (липень–серпень) пов'язаний з літнім мінімумом циклонічної аномалії (АЦ, пунктирна крива для $120^{\circ}\text{--}130^{\circ}\text{E}$ на рис. 3е), а утримання низьких рівнів ЗВО до жовтня–листопада — з посиленням антициклонічної аномалії, Сибірського антициклону

(крива для $60^{\circ}\text{--}70^{\circ}\text{E}$ на рис. 3е), який у цей період поширюється на захід [18]. В обох випадках ефект тропопаузи сприяє зниженню рівнів ЗВО.

У підсумку, сезонні зміни ЗВО в досліджуваній зоні широт виявляють чітку залежність від положення та протяжності стаціонарних тропосферних аномалій тиску, від їх сезонних змін, а також від зональної асиметрії та сезонності меридіонального транспорту озону. Найбільш ранній (у серпні) мінімум ЗВО над регіоном АЦ можна віднести до ефекту тропопаузи (вплив тропосфери), тоді як часовий зсув мінімуму над східною Атлантикою та Європою на жовтень–листопад може поєднувати ефекти тропопаузи (розвиток антициклонічних тропосферних аномалій, АА та СА) та прояви ЦБД в накопиченні озону (вплив стратосфери). Зокрема, для європейського регіону характерним є триваліше руйнування озону в нижній стратосфері в період його фотохімічної релаксації (літо–осінь), що й позначається на пізнішому досягненні мінімальних рівнів ЗВО.

Висновки

За супутниковими вимірюваннями в 1979–2011 рр. проаналізовано довготну залежність сезонних змін загального вмісту озону в широтній зоні, яка включає північну Україну та Київ. Одержані результати узгоджуються з виявленою раніше тенденцією зсуву річного циклу ЗВО до початку року в регіонах довготних максимумів в розподілі ЗВО.

Продовжуючи попередні дослідження, в роботі визначено довготні межі регіонів із найбільш раннім та найбільш пізнім розвитком річного циклу та розглянуто співвідношення між тропосферним та стратосферним впливом на сезонність ЗВО. З якісних оцінок такого співвідношення випливає, що зональний мінімум ЗВО над східною Атлантикою та Європою перебуває під впливом антициклонічних тропосферних аномалій (Азорський та Сибірський антициклони) та зонального мінімуму в інтенсивності накопичення стратосферного озону в процесі ЦБД. Запізнєння в розвитку річного циклу ЗВО в цьому регіоні приблизно на сезон порівняно з регіонами циклонічних аномалій зумовлене більшою мірою інерційністю проявів ЦБД (стратосферним впливом).

Меридіональний градієнт ЗВО, добре досліджений за середньозональними даними, використовують для пояснення значних відхилень у варіаціях ЗВО в середніх широтах: його високі (низькі) рівні зумовлені, як правило, надходженням збагаченого (збідненого) озоном стратосферного повітря з високих (низьких) широт. Наведена в роботі кліматологія сезонних змін ЗВО свідчить про часові відмінності в розвитку регіо-

нальних аномалій циркуляції в тропосфері та стратосфері впродовж року. Тому дані про довготну залежність в сезонності ЗВО можуть бути використані для повнішого опису міжширотних зв'язків (очевидно, також довготно та сезонно залежних) та для точнішого їх відтворення в модельних експериментах.

Література

- Александров Э. Л. Озонный щит Земли и его изменения. / Э. Л. Александров, Ю. А. Израэль, И. Л. Кароль, А. Х. Хргиан. — Санкт-Петербург: Гидрометеиздат, 1992. — 285 с. — ISBN 5-286-00529-2.
- Бойченко С. Г. Напівемпіричні моделі та сценарії глобальних і регіональних змін клімату / С. Г. Бойченко. — К.: Наукова думка, 2008. — 306 с.
- Грицай А. В. Аналіз розбіжності наземних та супутникових вимірювань загального вмісту озону: станція Київ-Голосіїв / А. В. Грицай, Г. П. Міліневський // Космічна наука і технологія. — 2014. — Т. 20, № 1. — С. 3–13.
- Дворецька І. В. Особливості динаміки загального вмісту озону в сучасний період / І. В. Дворецька // Наук. праці УкрНДГМІ. — 2012. — Вип. 262. — С. 257–271.
- Калініна І. В. Кліматичні норми загального вмісту озону / І. В. Калініна // Фізична географія та геоморфологія. — 2005. — Вип. 48. — С. 257–263.
- Холопцев А. В. Географическое положение акваторий Тихого океана как фактор значимости влияния изменений их поверхностных температур на состояние озоносферы / А. В. Холопцев // Людина та довкілля. Проблеми неоекології. — 2013. — № 3–4. — С. 105–112.
- Antón M. Temporal and spatial variabilities of total ozone column over Portugal / M. Antón, D. Bortoli, M. J. Costa et al. // Rem. Sens. Environ. — 2011. — Vol. 115, N 3. — P. 855–863.
- Appenzeller C. North Atlantic Oscillation modulates total ozone winter trends / C. Appenzeller, A. K. Weiss, J. Staehelin // Geophys. Res. Lett. — 2000. — Vol. 27, N 8. — P. 1131–1134.
- Brünnimann S. A global historical ozone data set and prominent features of stratospheric variability prior to 1979 / S. Brünnimann, J. Bhend, J. Franke et al. // Atmos. Chem. Phys. — 2013. — Vol. 13, N 18. — P. 9623–9639.
- Efstathiou M. N. On the longitude dependence of total ozone trends over middle-latitudes / M. N. Efstathiou, C. A. Varotsos, R. P. Singh. et al. // Int. J. Remote Sens. — 2003. — Vol. 24, N 6. — P. 1361–1367.
- Evtushevsky O. On the regional distinctions in annual cycle of total ozone in the northern midlatitudes / O. Evtushevsky, A. Grytsai, G. Milinevsky // Rem. Sens. Lett. — 2014. — Vol. 5, N 3. — P. 205–212.
- Fabian P. Ozone in the atmosphere. Basic principles, natural and human impacts / P. Fabian, M. Dameris. — Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2014. — 137 p.
- Fioletov V. E. Performance of the ground-based total ozone network assessed using satellite data / V. E. Fioletov, G. Labow, R. Evans et al. // J. Geophys. Res. — 2008. — Vol. 113, N D14. — D14313, doi:10.1029/2008JD009809.
- Fioletov V. E. Seasonal persistence of midlatitude total ozone anomalies / V. E. Fioletov, T. G. Shepherd // Geophys. Res. Lett. — 2003. — Vol. 30, N 7. — P. 1417–1421.
- Frith S. M. Recent changes in total column ozone based on the SBUV Version 8.6 Merged Ozone Data Set / S. M. Frith, N. A. Kramarova, R. S. Stolarski et al. // J. Geophys. Res. — 2014. — Vol. 119, N 16. — P. 9735–9751.
- Fusco A. C. Interannual variations of total ozone and their relationship to variations of planetary wave activity / A. C. Fusco, M. L. Salby // J. Climate. — 1999. — Vol. 12, N 6. — P. 1619–1629.
- Gabriel A. Zonal asymmetries in middle atmospheric ozone and water vapour derived from Odin satellite data 2001–2010 / A. Gabriel, H. Kärnich, S. Lossow et al. // Atmos. Chem. Phys. — 2011. — Vol. 11, N 18. — P. 9865–9885.
- Gong D.-Y. The Siberian High and climate change over middle to high latitude Asia / D.-Y. Gong, C.-H. Ho // Theor. Appl. Climatol. — 2002. — Vol. 72, N 1–2. — P. 1–9.
- Grytsai A. SCIAMACHY/Envisat, OMI/Aura, and ground-based total ozone measurements over Kyiv-Goloseyev station / Grytsai A., Milinevsky G. // Int. J. Remote Sens. — 2013. — Vol. 34, N 15. — P. 5611–5622.
- Hardiman S. C. The climatology of the middle atmosphere in a vertically extended version of the Met Office's climate model. Part I: Mean state / S. C. Hardiman, N. Butchart, S. M. Osprey et al. // J. Atmos. Sci. — 2010. — Vol. 67, N 5. — P. 1509–1525.
- Holton J. R. Stratosphere-troposphere exchange / J. R. Holton, P. H. Haynes, M. E. McIntyre et al. // Rev. Geophys. — 1995. — Vol. 33, N 4. — P. 403–439.
- Hood L. L. Lower stratospheric stationary waves and the longitude dependence of ozone trends in winter / L. L. Hood, D. A. Zaff // J. Geophys. Res. — 1995. — Vol. 100, N D12. — P. 25791–25800.
- Iwasaki T. Photochemical and dynamical contributions to the seasonal variation of total ozone amount over Japan / T. Iwasaki, S. Kaneto // J. Met. Soc. Jap. — 1984. — Vol. 62, N 2. — P. 343–356.
- Kalnay E. The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project / E. Kalnay, M. Kanamitsu, R. Kistler et al. // Bull. Am. Met. Soc. — 1996. — Vol. 77, N 3. — P. 437–471.
- Krzyżcin J. W. Variability of the total ozone trend over Europe for the period 1950–2004 derived from reconstructed data / J. W. Krzyżcin, J. L. Borkowski // Atmos. Chem. Phys. — 2008. — Vol. 8, N 11. — P. 2847–2857.
- Lozitsky V. Influence of planetary waves on total ozone column distribution in northern and southern high latitudes / V. Lozitsky, A. Grytsai, A. Klekociuk, G. Milinevsky // Int. J. Remote Sens. — 2011. — Vol. 32, N 11. — P. 3179–3186.
- McPeters R. D. The version 8.6 SBUV ozone data record: An overview / R. D. McPeters, P. K. Bhartia, D. Haffner et al. // J. Geophys. Res. Atmos. — 2013. — Vol. 118, N 4. — P. 8032–8039.
- Milinevsky G. P. Recent developments of atmospheric research in Ukraine / G. P. Milinevsky, V. O. Danylevsky, A. V. Grytsai et al. // Adv. Astr. Space Phys. — 2012. — Vol. 2, N 2. — P. 114–120.

29. Miyazaki K. Roles of transport in the seasonal variation of the total ozone amount / K. Miyazaki, T. Iwasaki, K. Shibata, M. Deushi // *J. Geophys. Res.* – 2005. – Vol. 110, N 18. – D18309, doi:10.1029/2005JD005900.
30. Nikulin G. The mean meridional circulation and midlatitude ozone buildup / G. Nikulin, A. Karpechko // *Atmos. Chem. Phys.* – 2005. – Vol. 5, N 11. – P. 3159–3172.
31. Orsolini Y. J. Ozone signatures of climate patterns over the Euro-Atlantic sector in the spring / Y. J. Orsolini, F. J. Doblas-Reyes // *Q. J. R. Met. Soc.* – 2003. – Vol. 129, N 595. – P. 3251–3263.
32. Peters D. H. W. Longitude-dependent decadal ozone changes and ozone trends in boreal winter months during 1960–2000 / D. H. W. Peters, A. Gabriel, G. Entzian // *Ann. Geophys.* – 2008. – Vol. 26, N 4. – P. 1275–1286.
33. Randel W. Coherent variations of monthly mean total ozone and lower stratospheric temperature / W. Randel, J. B. Cobb // *J. Geophys. Res.* – 1994. – Vol. 99, N D3. – P. 5433–5447.
34. Rieder H. E. Extreme events in total ozone over the Northern mid-latitudes: an analysis based on long-term data sets from five European ground-based stations / H. E. Rieder, L. M. Jancso, S. Di Rocco et al. // *Tellus.* – 2011. – Vol. 63B, N 5. – P. 860–874.
35. Salby M. L. Interannual changes of the stratospheric circulation: relationship to ozone and tropospheric structure / M. L. Salby, P. F. Callaghan // *J. Climate.* – 2002. – Vol. 15, N 24. – P. 3673–3685.
36. Sekiguchi Y. The seasonal variation of total ozone amount in middle latitudes / Y. Sekiguchi, H. Kida // *J. Met. Soc. Jap.* – 1971. – Vol. 49, N 2. – P. 95–110.
37. Shepherd T. G. Dynamics, stratospheric ozone, and climate change / T. G. Shepherd // *Atmosphere–Ocean.* – 2008. – Vol. 46, N 1. – P. 117–138.
38. Stolarski R. S. Search for evidence of trend slow-down in the long-term TOMS/SBUV total ozone data record: the importance of instrument drift uncertainty / R. S. Stolarski, S. M. Frith // *Atmos. Chem. Phys.* – 2006. – Vol. 6, N 12. – P. 4057–4065.
39. Stolarski R. S. Total ozone trends deduced from Nimbus 7 TOMS data / R. S. Stolarski, P. Bloomfield, R. D. McPeters, J. R. Herman // *Geophys. Res. Lett.* – 1991. – Vol. 18, N 6. – P. 1015–1018.
40. Tegtmeier S. A global picture of the seasonal persistence of stratospheric ozone anomalies / S. Tegtmeier, V. E. Fioletov, T. G. Shepherd // *J. Geophys. Res.* – 2010. – Vol. 115, N D18. – D18119, doi:10.1029/2009JD013011.
41. The Global Atmosphere Watch Programme: 25 years of global coordinated atmospheric composition observations and analyses / Geneva, Switzerland: World Meteorological Organization, 2014. – WMO-No. 1143. – 45 p.
42. van der A R. J. Multi sensor reanalysis of total ozone / R. J. van der A, M. A. F. Allaart, H. Eskes // *Atmos. Chem. Phys.* – 2010. – Vol. 10, N 22. – P. 11277–11294.
43. Weber M. The Brewer–Dobson circulation and total ozone from seasonal to decadal time scales / M. Weber, S. Dikty, J. P. Burrows et al. // *Atmos. Chem. Phys.* – 2011. – Vol. 11, N 21. – P. 11221–11235.

ДОЛГОТНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ СЕЗОННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ОБЩЕГО СОДЕРЖАНИЯ ОЗОНА В СРЕДНЕШИРОТНОЙ АТМОСФЕРЕ СЕВЕРНОГО ПОЛУШАРИЯ

А. М. Евтушевский

По спутниковым измерениям в 1979–2011 гг. проанализирована долготная зависимость сезонных изменений общего содержания озона в широтной полосе, включающей северную Украину и Киев. Определены долготные границы регионов с самым ранним и самым поздним развитием годичного цикла содержания озона. Результаты работы могут быть полезными при интерпретации наблюдений с использованием спектрофотометра Добсона на станции Киев-Голосеев и при изучения связей между изменениями в озоновом слое и региональными изменениями климата.

Ключевые слова: общее содержание озона, спутниковые измерения, Merged Ozone Data Set, реанализ NCEP–NCAR, долготное распределение, сезонные изменения

LONGITUDINAL DEPENDENCE OF SEASONAL CHANGES OF TOTAL OZONE CONTENT IN THE NORTHERN MIDLATITUDINAL ATMOSPHERE

O. M. Evtushevsky

By satellite measurements in 1979–2011 pp., the longitudinal dependence of seasonal changes of total ozone content in latitude band consisting the Northern Ukraine and Kyiv is analyzed. Longitudinal ranges of the regions with the earliest and latest development of annual cycle of total ozone have been determined. Results can be useful for interpretation of observations with the Dobson spectrophotometer at the Kyiv-Goloseyev station and for study of coupling between ozone layer changes and regional climate changes.

Keywords: total ozone content, satellite measurements, Merged Ozone Data Set, NCEP–NCAR reanalysis, longitudinal distribution, seasonal changes



Науковий центр
аерокосмічних досліджень Землі
ІГН НАН України



Української
гідрометеорологічний центр



Національний університет
«КИЄВО-МОГИЛЯНЬСЬКА АКАДЕМІЯ»

ПАРНИКОВИЙ ЕФЕКТ І ЗМІНИ КЛІМАТУ В УКРАЇНІ: ОЦІНКИ ТА НАСЛІДКИ

Відповідальний редактор академік НАН України
В. І. Лялько



Scientific Centre for
Aerospace Research of the Earth
Institute of Geological Science
National Academy of Sciences of Ukraine



Ukrainian
Hydrometeorological Center



National University of
"Kyiv - Mohyla Academy"

GREENHOUSE EFFECT AND CLIMATE CHANGES IN UKRAINE: ASSESSMENTS AND CONSEQUENCES

Editor-in-Chief
Academician of National Academy of Sciences of Ukraine
V. I. Lyalko

УДК 553.98(477+575.18+571.66):558.8.003

ПАРНИКОВИЙ ЕФЕКТ І ЗМІНИ КЛІМАТУ В УКРАЇНІ: ОЦІНКИ ТА НАСЛІДКИ / ВІДП. РЕД. В. І. ЛЯЛЬКО. — КИЇВ, 2015

Сьогодні відбуваються масштабні просторово-часові кліматичні зміни на Землі глобального і регіонального характеру — так званий парниковий ефект. Це зумовило необхідність проведення різноманітних досліджень з метою виявлення їх природи, причин виникнення та прогнозування їх перебігу в майбутньому.

Викладено сучасний стан досліджень по проблемі визначення парникового ефекту в світі та Україні. Наведено результати експериментальних визначень балансу вуглекислого газу та оцінки розбіжностей у визначенні цього показника за методикою Національного кадастру та супутниковими вимірами. Проаналізовано багаторічні матеріали наземного та супутникового моніторингу температури повітря для пояснення кліматичних змін в Україні. Виконано оцінку ризиків впливу цих змін. Запропоновано заходи щодо мінімізації негативних наслідків подібного впливу.

Розглянуто прогнозні варіанти кліматичних змін у короткостроковій перспективі. Оцінено можливий еколого-економічний вплив цих процесів на природу і суспільство. Визначено напрями подальших досліджень та практичного впровадження їх результатів з метою раціонального природокористування та соціо-економічного розвитку України.

Для широкого кола читачів, яких цікавить вплив кліматичних змін на довкілля та еколого-економічний розвиток суспільства.

At present the large-scale spatial and temporal climate changes of the Earth are occurring at the global and regional levels known as greenhouse effect. This requires the different studies to reveal their character, causes of occurrence and predict their progressing in the future.

The current state of researches on the problem of estimating the greenhouse effect in the world and Ukraine is highlighted. The results of experimental determination of carbon dioxide balance and assessments of the discrepancies for this indicator determined by the method of the National Cadastre and satellite measurements are produced. The long-term air temperature data provided by in situ observations and satellite monitoring are analyzed to explain the climate changes in Ukraine. The risk assessment of climatic change impact is obtained. The measures for the mitigation of negative consequences of this impact are proposed.

The prediction versions for the climatic changes in the short – term perspectives are discussed. The possible ecological and economical influences of these processes on environment and society are evaluated. The lines of the further investigations and practical implementation of their results aiming to the environment management and socio-economic development in Ukraine are defined.

This book is addressed to a wide range of readers, who have an interest in the climatic changes in environment, as well as ecological and economic development of society.

Редакційна колегія:

канд. геогр. наук Л. О. Єлістратова, канд. біол. наук Г. М. Жолобак, канд. фіз.-мат. наук Ю. В. Костюченко, канд. геогр. наук М. І. Кульбіда (заст. відп. редактора), канд. геол. наук Д. М. Мовчан, д. геол. н. О. І. Сахацький (заст. відп. редактора)

Рецензенти:

чл.-кор. НАН України О. Д. Федоровський, чл.-кор. НАН України О. Ю. Митропольський

Затверджено до друку вченою радою Наукового центру аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук
НАН України і Бюро відділення наук про Землю

© О. А. Апостолов, І. Г. Артеменко, М. Б. Барабаш, Ю. Г. Білоус, М. В. Ваколюк, Л. О. Єлістратова, С. С. Дугін, Г. М. Жолобак, Ю. В. Захарчук, С. В. Киризюк, І. М. Копачевський, Ю. В. Костюченко, М. І. Кульбіда, В. І. Лялько, Д. М. Мовчан, О. І. Сахацький, О. О. Халаїм, М. В. Ющенко

ISBN 978-966-95419-01

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

ВБ	— Всесвітній Банк
ВВК	— валовий вітальний капітал
ВВП	— внутрішній валовий продукт
ВГП	— валовий глобальний продукт
ВДК	— валовий духовний капітал
ВЕК	— питоме виробництво екокапіталу
ВЛК	— виробництво людського капіталу
ВМО	— Всесвітня Метеорологічна організація
ВНП	— валовий національний продукт
ВНС	— вакуум-насосна станція
ВРП	— валовий регіональний продукт
ВСК	— валовий соціальний капітал
ГІС	— геоінформаційна система
ГТК	— гідротермічний коефіцієнт
ГФВ	— гідрофторвуглець
ДЗЗ	— дистанційне зондування Землі
Екос	— глобальна система «людина — суспільство — природа»
ЕРВ	— ефективний радіаційний вплив
ЗЗЛП	— зміни в землекористуванні та лісове господарство
ІГН	— Інститут геологічних наук НАН України
ІРЛ	— індекс розвитку людини
ІРЛП	— індекс розвитку людського потенціалу
МВФ	— Міжнародний Валютний Фонд
МГЕЗК	— Міжнародна група експертів зі змін клімату
МНС	— Міністерство надзвичайних ситуацій
НАН	— Національна академія наук
НАУКМА	— Наукова установа «Могилянська академія»
НМЛОС	— Неметанові леткі органічні сполуки
НЦОВПГ	— Національний центр обліку викидів парникових газів
ООН	— Організація Об'єднаних Націй
ПАК	— Північно-Атлантичне коливання
ПВК	— питомий відтворений капітал
ПГ	— парникові гази
ПЛК	— питомий людський капітал
ПФВ	— перфторвуглець
РВ	— радіаційний вплив
РТК	— репрезентативні траєкторії концентрацій
ЦАКДЗ	— Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі
СІГ	— індекс соціогуманітарного розвитку
СІР	— синтетичний індекс розвитку
УкрНДГМІ	— Український науково-дослідний гідрометеорологічний інститут
ЦГО	— Центральна геофізична обсерваторія
ЦДА	— Центр дії атмосфери
ЮНЕП	— Програма ООН по навколишньому середовищі
DAO	— Data Assimilation Office
GPP	— валова первинна продукція
ID	— Index of Drought (індекс посухи)
IPCC	— Intergovernmental Panel on climate Change
KPCA	— Kernel Principal Component Analysis
NCAR	— Національний центр досліджень атмосфери США
NPP	— Чиста первинна продукція

З М І С Т

ПЕРЕДМОВА

В. І. Лялько

РОЗДІЛ 1. СУЧАСНИЙ СТАН ДОСЛІДЖЕНЬ ПО ПРОБЛЕМІ

В. І. Лялько, О. І. Сахацький, Ю. В. Костюченко, Д. М. Мовчан, І. Г. Артеменко, М. В. Ваколюк

РОЗДІЛ 2. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ СТОКУ (АБСОРБЦІЇ РОСЛИНАМИ) CO₂ ДЛЯ ОСНОВНИХ АГРОКУЛЬТУР УКРАЇНИ

В. І. Лялько, О. О. Халаїм, О. І. Сахацький, М. В. Ваколюк, С. С. Дугін, Г. М. Жолобак

2.1. ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИРОДНИХ УМОВ ТА БІОФІЗИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ АГРОКУЛЬТУР НА ДОСЛІДНИХ ДІЛЯНКАХ
М. В. Ваколюк

2.2. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ГАЗОМЕТРИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ
О. О. Халаїм

2.2.1. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ВАЛОВОЇ ПЕРВИННОЇ ПРОДУКТИВНОСТІ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР ЛІСОСТЕПОВОЇ ЗОНИ УКРАЇНИ
О. О. Халаїм

2.3. ПОЛЬОВІ СПЕКТРОМЕТРИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ АБСОРБЦІЇ CO₂ АГРОКУЛЬТУРАМИ НА ТЕСТОВОМУ ПОЛІГОНІ “БЕРЕЗАНЬ” (КИЇВСЬКА ОБЛАСТЬ) ТА ВИЗНАЧЕННЯ КОРЕЛЯТИВНИХ ЗВ’ЯЗКІВ СПЕКТРОМЕТРИЧНИХ ДАНИХ З РЕЗУЛЬТАТАМИ АНАЛОГІЧНИХ ГАЗОМЕТРИЧНИХ ВИЗНАЧЕНЬ
С. С. Дугін

2.4. ВАЛОВА ПЕРВИННА ПРОДУКТИВНІСТЬ ТА ЧИСТА ПЕРВИННА ПРОДУКТИВНІСТЬ РОСЛИННОГО ПОКРИВУ ОСНОВНИХ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР ДНІПРОПЕТРОВСЬКОЇ, МИКОЛАЇВСЬКОЇ ТА ЧЕРКАСЬКОЇ ОБЛАСТЕЙ УКРАЇНИ ЗА ДАНИМИ ПРОДУКТІВ MODIS
О. І. Сахацький, Г. М. Жолобак

РОЗДІЛ 3. ОЦІНКА РОЗБІЖНОСТЕЙ У ВИЗНАЧЕННІ ЕМІСІЙ ТА СТОКУ (АБСОРБЦІЇ РОСЛИНАМИ) CO₂ ДЛЯ УКРАЇНИ, ВИКОНАНИХ ЗА МЕТОДИКОЮ НАЦІОНАЛЬНОГО КАДАСТРУ, В ПОРІВНЯННІ З ДАНИМИ СУПУТНИКОВИХ ВИМІРІВ

В. І. Лялько, Д. М. Мовчан, Ю. В. Захарчук, І. Г. Артеменко

3.1. ЗАГАЛЬНА ІНФОРМАЦІЯ ПРО ІНВЕНТАРИЗАЦІЮ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ В УКРАЇНІ ЗГІДНО З МІЖНАРОДНИМИ УТОДАМИ ТА РОЗРОБЛЕНИМИ НАЦІОНАЛЬНИМИ МЕТОДИКАМИ
Ю. В. Захарчук

3.2. БАЗОВІ ПРИНЦИПИ ТА ОСОБЛИВОСТІ МЕТОДОЛОГІЇ РОЗРАХУНКУ (ОЦІНКИ) ЕМІСІЙ/СТОКУ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ КРАЇНАМИ, ЗОКРЕМА УКРАЇНОЮ, ВІДПОВІДНО ДО РЕКОМЕНДАЦІЙ МГЕЗК (IPCC)
Ю. В. Захарчук

3.3. ОСОБЛИВОСТІ ОЦІНКИ, ПРОБЛЕМАТИКА ТА НЕТОЧНОСТІ, А ТАКОЖ ТЕНДЕНЦІЇ ЕМІСІЙ/СТОКУ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ ЗА СЕКТОРАМИ, ВІДПОВІДНО ДО МЕТОДИК МГЕЗК ТА НАЦІОНАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ, ПОДАНИХ У НАЦІОНАЛЬНОМУ КАДАСТРІ
В. І. Лялько, І. Г. Артеменко, Ю. В. Захарчук

3.4. ДОСТОВІРНІСТЬ (ВЕЛИЧИНИ НЕВИЗНАЧЕНОСТЕЙ) ОЦІНОК БАЛАНСУ, СТОКУ ТА ЕМІСІЙ ВУГЛЕЦЮ І ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ В НАЦІОНАЛЬНІЙ СИСТЕМІ ІНВЕНТАРИЗАЦІЇ
Д. М. Мовчан

3.5. ОГЛЯД МЕТОДОЛОГІЙ ОЦІНКИ ЕМІСІЙ/СТОКУ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ НА ОСНОВІ ДАНИХ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ
І. Г. Артеменко, Д. М. Мовчан

РОЗДІЛ 4. ОСОБЛИВОСТІ ЗМІН КЛІМАТУ В УКРАЇНІ НА КІНЕЦЬ ХХ–ПОЧАТОК ХХІ СТ. ЗА НАЗЕМНИМИ ТА СУПУТНИКОВИМИ ДАНИМИ

В. І. Лялько, Л. О. Єлістратова, М. І. Кульбіда, О. А. Апостолов, М. Б. Барабаш

4.1. ОСОБЛИВОСТІ ЗМІНИ ГЛОБАЛЬНОГО І РЕГІОНАЛЬНОГО (УКРАЇНА) КЛІМАТУ У ЗВ’ЯЗКУ З ВПЛИВОМ АНТРОПОГЕННОГО ФАКТОРА
В. І. Лялько, Л. О. Єлістратова

4.2. ПОТОЧНІ ЗМІНИ КЛІМАТУ В УКРАЇНІ
Л. О. Єлістратова, О. А. Апостолов, М. І. Кульбіда

4. 2.1. РЕГІОНАЛЬНІ ОСОБЛИВОСТІ ЗМІНИ ТЕМПЕРАТУРИ ПОВІТРЯ

Л. О. Єлістратова, О. А. Апостолов

4. 2. 2. ПРОСТОРОВО-ЧАСОВІ ЗАКОНОМІРНОСТІ ЗМІНИ ОПАДІВ НА ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ ЗА ПЕРІОД ІНСТРУМЕНТАЛЬНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ

Л. О. Єлістратова, М. І. Кульбіда

4. 2. 3. КЛІМАТИЧНІ УМОВИ ПОЧАТКУ ХХІ ст.

Л. О.Єлістратова, М. І. Кульбіда, О. А. Апостолов

4. 2. 4. ІНФОРМАЦІЯ ПРО ЕКСТРЕМАЛЬНІ КЛІМАТИЧНІ ЯВИЩА В ХХІ СТ. НА ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ

М. І. Кульбіда, Л. О. Єлістратова

4. 3. ПРОГНОЗОВАНІ ЗМІНИ КЛІМАТУ

М. І. Кульбіда, Л. О. Єлістратова, М. Б. Барабаш

4.4. НАЗЕМНИЙ ТА АЕРОКОСМІЧНИЙ МОНІТОРИНГ ТЕМПЕРАТУРИ ПОВІТРЯ, НЕОБХІДНИЙ ДЛЯ АНАЛІЗУ СУЧАСНОЇ ЗМІНИ КЛІМАТУ В УКРАЇНІ

В. І. Лялько, Л. О. Єлістратова, О. А. Апостолов

4. 5. ВИЯВЛЕННЯ ЗМІН ЕКОСИСТЕМ У ТИПОВИХ ЛАНДШАФТНО-КЛІМАТИЧНИХ ЗОНАХ УКРАЇНИ З ВИКОРИСТАННЯМ СУМІСНОГО АНАЛІЗУ НАЗЕМНИХ ТА СУПУТНИКОВИХ ДАНИХ

В. І. Лялько, Л. О. Єлістратова, О. А. Апостолов

4. 6. ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОБЛЕМ ПОСУШЛИВОСТІ НА ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ З ВИКОРИСТАННЯМ НАЗЕМНОЇ ТА СУПУТНИКОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ

В. І. Лялько, Л. О. Єлістратова, О. А. Апостолов, М. І. Кульбіда

4. 7. ВПЛИВ КЛІМАТУ НА ВРОЖАЙНІСТЬ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР

В. І. Лялько, М. І. Кульбіда, Л. О. Єлістратова

4. 7. 1. ПОГОДНІ РИЗИКИ В СІЛЬСЬКОМУ ГОСПОДАРСТВІ ПРИ ПОТЕПЛІННІ ЗА НАЗЕМНИМИ ДАНИМИ

М. І. Кульбіда

4. 7. 2. НАСЛІДКИ КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН І АДАПТАЦІЙНІ ЗАХОДИ ДЛЯ АГРАРНОГО СЕКТОРУ

В. І. Лялько, Л. О. Єлістратова, М. І. Кульбіда

РОЗДІЛ 5. ОЦІНКА РИЗИКІВ ПРИ ЗМІНІ КЛІМАТУ В УКРАЇНІ

Ю. В. Костюченко, М. В. Ваколюк, Д. М. Мовчан, Ю.Г. Білоус, М. В. Ющенко, І. М. Копачевський

5. 1. МЕТОДИ КІЛЬКІСНОЇ ОЦІНКИ РИЗИКІВ, ПОВ'ЯЗАНИХ ІЗ ДОВГОСТРОКОВИМИ ЗМІНАМИ КЛІМАТУ І ДОВКІЛЛЯ

Ю. В. Костюченко, Д. М. Мовчан, Ю. Г. Білоус, М. В. Ющенко, І. М. Копачевський

5. 1. 1. МЕТОДИ РЕГУЛЯРИЗАЦІЇ ДАНИХ. СТАТИСТИЧНИЙ АНАЛІЗ РОЗПОДІЛІВ ПАРАМЕТРІВ НЕБЕЗПЕКИ

Ю. В. Костюченко, Д. М. Мовчан, Ю. Г. Білоус, М. В. Ющенко, І. М. Копачевський

5. 1. 2. МЕТОДИ РЕГУЛЯРИЗАЦІЇ ДАНИХ. ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ НЕЛІНІЙНОЇ ПРОСТОРОВО-ЧАСОВОЇ РЕГУЛЯРИЗАЦІЇ ДЛЯ АНАЛІЗУ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ

Ю. В. Костюченко, Д. М. Мовчан, Ю. Г. Білоус, І. М. Копачевський

5. 1. 3. АНАЛІЗ РУШІЙНИХ СИЛ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ ШЛЯХОМ ПРОБЛЕМНО-ОРІЄНТОВАНОЇ ПРОСТОРОВО-ЧАСОВОЇ РЕГУЛЯРИЗАЦІЇ ДАНИХ. ОЦІНКА ЙМОВІРНОСТІ ПРОЯВІВ ЕКСТРЕМАЛЬНИХ КЛІМАТИЧНИХ ЯВИЩ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ АНАЛІЗУ ДАНИХ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ

Ю. В. Костюченко, Д. М. Мовчан, Ю. Г. Білоус, І. М. Копачевський

5. 1. 4. МЕТОД ІНТЕГРАЦІЇ ДАНИХ ЛОКАЛЬНИХ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ В ГЛОБАЛЬНІ КЛІМАТИЧНІ МОДЕЛІ. ОСНОВИ ПІДХОДУ ДО РЕГІОНАЛІЗАЦІЇ МОДЕЛЕЙ КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН ЗА ДАНИМИ РЕГУЛЯРИЗОВАНИХ РЕГІОНАЛЬНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ

Ю. В. Костюченко, Ю. Г. Білоус, І. М. Копачевський

5. 1. 5. МЕТОД ОЦІНКИ КОМПЛЕКСНИХ МІР РИЗИКУ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ СПІЛЬНОГО АНАЛІЗУ БАГАТОВИМІРНИХ МУЛЬТИВАРІАТИВНИХ ВЕЛИЧИН

Ю. В. Костюченко, Ю. Г. Білоус

5. 1. 6. ОБМЕЖЕННЯ ЗАПРОПОНОВАНОГО МЕТОДУ МОДЕЛЮВАННЯ

Ю. В. Костюченко

5. 2. МАТЕМАТИЧНА ТА ЕКСПЕРТНА ОЦІНКА НЕБЕЗПЕК, ПОВ'ЯЗАНИХ З ДОВГОСТРОКОВИМИ ЗМІНАМИ КЛІМАТУ ТА ДОВКІЛЛЯ

Ю. В. Костюченко, Д. М. Мовчан, М. В. Ющенко, І. М. Копачевський

5. 2. 1. ОЦІНКА ПОКАЗНИКІВ РИЗИКІВ ЛАНДШАФТНИХ ПОЖЕЖ

Ю. В. Костюченко, Д. М. Мовчан, М. В. Ющенко

5. 2. 2. ОЦІНКА ПОКАЗНИКІВ БІОЛОГІЧНОЇ ПРОДУКТИВНОСТІ ЛАНДШАФТІВ

Ю. В. Костюченко, Д. М. Мовчан, І. М. Копачевський

5. 2. 3. ЗАГАЛЬНІ ЗАСАДИ ОЦІНОК НЕБЕЗПЕК, ПОВ'ЯЗАНИХ З ДОВГОСТРОКОВИМИ ЗМІНАМИ КЛІМАТУ ТА ДОВКІЛЛЯ

Ю. В. Костюченко, М. В. Ющенко

5. 2. 4. ЕКСПЕРТНІ ОЦІНКИ І РЕКОМЕНДАЦІЇ З УПРАВЛІННЯ РЕГІОНАЛЬНИМИ РИЗИКАМИ, ПОВ'ЯЗАНИМИ ІЗ ЗМІНАМИ КЛІМАТУ В УКРАЇНІ

Ю. В. Костюченко, Д. М. Мовчан, М. В. Ющенко

5. 2. 5. ЕКСПЕРТНІ ОЦІНКИ РИЗИКІВ ПРИ ЗМІНІ КЛІМАТУ В УКРАЇНІ

М. В. Ваколюк

РОЗДІЛ 6. ОЦІНКА ВПЛИВУ ПРИРОДНО-АНТРОПОГЕННИХ ПРОЦЕСІВ НА СОЦІО-ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗВИТОК УКРАЇНИ

В. І. Лялько, Л. О. Єлістратова, Д. М. Мовчан, Ю. В. Костюченко, І. М. Копачевський С. М. Киристюк

6. 1. РЕГІОНАЛЬНИЙ СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗВИТОК В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТЕЙ, ВИКЛИКАНИХ РІЗНОМАСШТАБНИМИ ЗМІНАМИ

Ю. В. Костюченко, Д. М. Мовчан, С. М. Киристюк

6. 2. ОЦІНКА РИЗИКІВ ВАРІАЦІЇ БІОПРОДУКТИВНОСТІ ЗА ДАНИМИ ДЗЗ З МЕТОЮ ОЦІНКИ СТАЛОСТІ АГРАРНОГО ВИРОБНИЦТВА

Ю. В. Костюченко, Д. М. Мовчан, І. М. Копачевський

6.2.1. РЕЗУЛЬТАТИ ЧИСЕЛЬНОГО МОДЕЛЮВАННЯ: РОЗРАХУНОК ОПТИМАЛЬНОЇ СТРУКТУРИ ЗЕМЛЕКОРИСТУВАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО СЕКТОРУ З УРАХУВАННЯМ КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН

Ю. В. Костюченко, С. В. Киристюк, Д. М. Мовчан

6. 3. ВПЛИВ ЗМІНИ КЛІМАТУ НА УМОВИ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ НАСЕЛЕННЯ УКРАЇНИ

В. І. Лялько, Л. О. Єлістратова

6. 4. СУЧАСНІ ВПЛИВИ ЛЮДИНИ НА БІОСФЕРУ

В. І. Лялько, Л. О. Єлістратова

6. 5. ЙМОВІРНІСНИЙ ПІДХІД ДО ОЦІНКИ РИЗИКІВ ПРИ МОЖЛИВІЙ НЕБЕЗПЕЦІ ДЛЯ ЛЮДИНИ І ПРИРОДИ ВИКЛИКАНИХ ЗМІНОЮ КЛІМАТУ

В. І. Лялько, Л. О. Єлістратова

6. 6. ОЦІНКА І ПРОГНОЗУВАННЯ ВЗАЄМОПОВ'ЯЗАНИХ ПРИРОДНО-АНТРОПОГЕННИХ ТА СОЦІО-ЕКОНОМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ, ЩО ОБУМОВЛЕНІ ЗМІНАМИ КЛІМАТУ

В. І. Лялько, Л. О. Єлістратова, Д. М. Мовчан

6. 6. 1. ЕРГОДИНАМІЧНИЙ ЗВ'ЯЗОК БІОСФЕРИ ТА СОЦІУМУ (ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ ЕРГОДИНАМІКИ)

В. І. Лялько, Л. О. Єлістратова

6. 6. 2. МЕТОДИКА РОЗРАХУНКІВ ІНДИКАТОРІВ СОЦІОПРИРОДНОГО РОЗВИТКУ

В. І. Лялько, Л. О. Єлістратова

6. 6. 3. РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКУ СОЦІОПРИРОДНОГО РОЗВИТКУ РЕГІОНІВ УКРАЇНИ

Л. О. Єлістратова, Д. М. Мовчан

6. 6. 4. БЕЗРОЗМІРНІ ІНДЕКСИ РОЗВИТКУ

Л. О. Єлістратова

6. 6. 5. ВІДТВОРЕНИЙ КАПІТАЛ РЕГІОНІВ

Л. О. Єлістратова

6. 6. 6. ПРИРОДНА КОМПЕНСАЦІЯ АНТРОПОГЕННИХ ВПЛИВІВ НА БІОСФЕРУ ДЛЯ РЕГІОНІВ УКРАЇНИ

Л. О. Єлістратова, Д. М. Мовчан

6. 6. 7. БІОСФЕРНА РЕНТА РЕГІОНІВ

Л. О. Єлістратова

6. 6. 8. СТАЛИЙ РОЗВИТОК І УКРАЇНА

В. І. Лялько, Л. О. Єлістратова

ВИСНОВКИ І РЕКОМЕНДАЦІЇ

В. І. Лялько

СПИСОК РИСУНКІВ

ПЕРЕДМОВА

Масштабні просторово-часові кліматичні зміни на Землі, як глобального, так і регіонального характеру, в останні десятиріччя є беззаперечним фактом. Оскільки вони впливають на стан довкілля та економіки, це викликало необхідність проведення різноманітних досліджень по виявленню їх природи, причин виникнення та прогнозування їх перебігу у майбутньому, а також вивчення можливого еколого-економічного впливу цих процесів на природу і суспільство, щоб превентивно запропонувати заходи щодо мінімізації негативних наслідків подібного впливу.

Для пояснення можливих причин і факторів, що могли спричинити вказані кліматичні зміни і, зокрема, так зване “глобальне потепління”, було залучено дві основні групи гіпотез — дію астрономічних чинників (в основному циклічних процесів на Сонці) та інтенсивне збільшення вмісту парникових газів (CO_2 , CH_4 та ін.), які внаслідок дії антропогенних факторів щороку накопичуються в атмосфері, створили відповідний теплонепроникний бар’єр для відтоку тепла із Землі.

Істина, як стверджує народна мудрість, повинна знаходитись десь посередині між вказаними твердженнями. Тому задача науковців полягає в проведенні цілеспрямованих теоретико-методичних та практичних інструментальних досліджень і вимірів, щоб визначити кількісні показники частки впливу на вказані кліматичні зміни як космічного, так і земного факторів.

Цьому питанню присвячена велика кількість публікацій — монографій, статей, матеріалів національних та міжнародних наукових форумів, основні з яких наведені далі у розд. 1 “Сучасний стан досліджень по проблемі”.

Визнаючи безсумнівний вплив астрономічних факторів на зміни клімату Землі в багаторічному геологічному часі, ми більш детально зупинимось на методах виявлення, оцінки і короткочасового прогнозування кліматичних змін в Україні, пов’язаних з впливом на довкілля парникового ефекту, тобто зростанням перш за все CO_2 в атмосфері в останні десяти-

тиріччя та оцінці можливого впливу цього феномена на соціо-економічні процеси*.

При цьому, залучаючи до аналізу матеріали наземних та супутникових інструментальних спектро- та газометричних зйомок, ми виходимо з положень, відображених у рішеннях Робочої групи по вивченню парникових газів супутниковими методами (Нідерланди, 5-7.05.2014, ESA ESTEC), що однією з основних проблем в цих дослідженнях є проблема невизначеності в інтерпретації одержаних результатів внаслідок, зокрема, недостатньої кількості наземних інструментальних вимірів відповідних характеристик на регіональному рівні в різних ландшафтно-кліматичних зонах нашої планети.

Ми також поділяємо точку зору деяких дослідників і, зокрема, академіка НАН Білорусі В. Ф. Логінова, який в своїй фундаментальній праці “Радиационные факторы и доказательная база современных изменений климата” (2012) справедливо відмічав, що хоча математичне моделювання змін клімату і досягло в світі високого рівня, однак більшість сучасних кліматичних моделей не враховує багатьох суттєвих планетарних і регіональних особливостей розвитку процесів енергомасообміну в довкіллі і тому не завжди одержуються коректні результати при багаторічних кліматичних прогнозах.

Отже, враховуючи вказані особливості і слабкі місця в сучасних дослідженнях парникового ефекту на Землі, необхідно приділити першочергову увагу саме наземним полігонним спектро- та газометричним вимірам в усіх регіонах, що характеризуються типовими ландшафтно-кліматичними умовами. Це дозволить не тільки більш коректно визначати складові балансу парникових газів (і перш за все CO_2) за наземними дослідженнями, але й суттєво підвищити надійність та достовірність результатів тематичної інтерпретації відповідних матеріалів супутникових зйомок.

При цьому слід мати на увазі, що лише залучення супутників зі спектро- та газометричною апаратурою високого ступеня спектрального та просторового розрізнення, які можуть експлуатуватись у режимі

* Як свідчать матеріали, опубліковані в “Бюлетені парникових газів” Всесвітньої метеорологічної організації за 2014 р., концентрація CO_2 в атмосфері в 2013 р. зросла майже на 3 частки на мільйон, досягнувши 396 ppm, що є рекордним значенням за останні 30 років. Глобальні викиди CO_2 в атмосферу вперше досягли величини близько 40 млрд тонн/рік. При цьому зазначається, що безпечним для оптимального розвитку земних екосистем є рівень концентрації CO_2 не вище 350 ppm.

щоденного загальнопланетарного моніторингу, може дати надійні практичні результати як для оцінки стану довкілля (в тому числі виявлення надзвичайних ситуацій), так і для оперативного прийняття відповідними структурами управлінських рішень по оцінці ризиків для навколишнього середовища та економіки і розробці та впровадженню відповідних заходів протидії виникаючим негараздам.

Тому, враховуючи вищенаведене, в даній монографії, авторський колектив якої представлений вченими Наукового центру аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України, Києво-Могилянської академії та Гідрометеоцентру України, коротко викладено сучасний стан досліджень по проблемі визначення парникового ефекту в світі та Україні а також результати експериментальних визначень балансу CO_2 та оцінки розбіжностей у визначенні цього показника за методикою Національного кадастру та супутниковими вимірами. Проаналізовано багаторічні ма-

теріали наземного та супутникового моніторингу температури повітря для пояснення кліматичних змін в Україні та виконано оцінку ризиків внаслідок впливу зазначених змін.

Розглянуто прогнозні варіанти кліматичних змін у короткостроковій перспективі та оцінено вплив змін природно-антропогенних процесів на соціо-економічний розвиток України.

Автори усвідомлюють, що не всі поставлені задачі вирішені повністю, що можуть існувати і не враховані чинники кліматичних змін та методи їх оцінки. Але виконане узагальнення існуючих даних та одержаних нових експериментальних матеріалів буде корисне як для ознайомлення із сучасним станом цієї актуальної проблематики, так і для визначення напрямів подальших досліджень та практичного впровадження їх результатів з метою раціонального природокористування та соціо-економічного розвитку України.

РОЗДІЛ 1

СУЧАСНИЙ СТАН ДОСЛІДЖЕНЬ ПО ПРОБЛЕМІ

24 вересня 2014 р. у м. Нью Йорк завершився саміт ООН по клімату, на якому зібрались світові лідери, представники урядів, фінансових структур, бізнесу та громадянського суспільства з метою активізації і стимулювання дій на захист клімату. Були запропоновані пакети дій, які дозволять скоротити викиди парникових газів (ПГ), зміцнити стійкість геосистем до зміни клімату і мобілізувати політичну волю для укладання повноцінної юридичної угоди в 2015 р. [17].

Підбиваючи підсумки тих рішень, які в ході зустрічі ухвалили держави, Генеральний секретар ООН Пан Гі Мун привернув увагу до заяви Європейського Союзу про готовність оголосити в жовтні 2014 р. про нову мету — скоротити емісії ПГ на 40%. “Я вітаю зобов’язання, пов’язані з поповненням Зеленого кліматичного фонду й мобілізацією 100 млрд доларів США на рік для боротьби з негативними змінами клімату”, — сказав Пан Гі Мун. “І, безумовно, я вітаю щедрі обіцянки президента Франції та канцлера Німеччини внести по 1 млрд доларів США”, — заявив глава ООН. Раніше він повідомив, що на першому кліматичному саміті пролунали нові партнерські ініціативи. Наприклад, Міжнародний союз залізниць, який нараховує 240 членів, серед яких представники Європи, Китаю, Росії, Індії й США, запропонував ініціативу по зниженню емісій ПГ у цій галузі — на 75% до 2050 р. А представники бізнесу і політики до 2030 р. частку електромобілів у містах планують збільшити до 30% [17].

Передбачається, що заходи, викладені в декларації, можуть привести до скорочення до 2030 р. викидів вуглекислого газу на 4,5–8,8 млрд тонн у рік. Це еквівалентно викидам вуглецю, які роблять мільярд автомобілів.

Транснаціональні нафтові й газові компанії оголосили про рішення об’єднати свої зусилля з урядами і міжнародними екологічними організаціями для того, щоб скоротити викиди метану — потужного парникового газу, що супроводжує виробництво нафти та газу. До цієї ініціативи приєдналися також уряди великих нафто- і газодобувних країн, у тому числі Мексики, Нігерії, Норвегії, Російській Федерації і США.

Фінансові корпорації пообіцяли виділити понад 200 млрд доларів США на забезпечення низьковуглецевого економічного розвитку до 2050 р. [15].

Все це наочно показує, що проблеми, пов’язані із наслідками кліматичних змін і, зокрема, парниковим ефектом, стали актуальними для всіх верств населення і потребують детального вивчення як на глобальному, так і на регіональному рівнях для розробки оптимальних стратегій соціо-економічної адаптації із залученням всіх сучасних технічних можливостей для сталого розвитку людства.

Останній звіт [9] Міжурядової групи експертів по зміні клімату (МГЕЗК) надає інформацію про оцінки, загрози та виклики, пов’язані із парниковим ефектом, а також таким фактором впливу на нього, як ПГ (наприклад, CO₂).

В основі спостережень за кліматичною системою лежать прямі виміри і дистанційне зондування, що здійснюється із супутників та інших платформ. Спостереження за температурою та іншими змінами в глобальному масштабі почалися в середині XIX ст. з початком ери інструментальних методів, а з 1950 р. стали доступні більш всеосяжні та різноманітні ряди спостережень. Палеокліматичні реконструкції подовжують деякі ряди на періоди від сотень до мільйонів років. У своїй сукупності вони дають всебічне уявлення про мінливість і довгострокові зміни в атмосфері, океані, криосфері та суходолі [9].

Глобально усереднені, сукупні дані про температуру поверхні суходолу та океану, розраховані на основі лінійного тренда, свідчать про потепління на 0,85°C (0,65–1,06°C) за період 1880–2012 рр., за які є численні, незалежно отримані масиви даних.

Протягом найтривалішого періоду, по якому розрахунок регіональних трендів достатньо адекватний (1901–2012 рр.), потепління спостерігалось майже по усьому світу (рис. 1.1) [9].

Карта складена згідно із трендами температури, визначеними за допомогою методу лінійної регресії по одному ряду даних. Тренди були розраховані для тих місць, де наявність даних дозволяє надати надійну оцінку (тобто для комірок сітки з наявністю понад 70% від можливого обсягу даних, причому більше 20% від можливого обсягу даних за перші та останні 10 % періоду спостережень). Інші райони по-

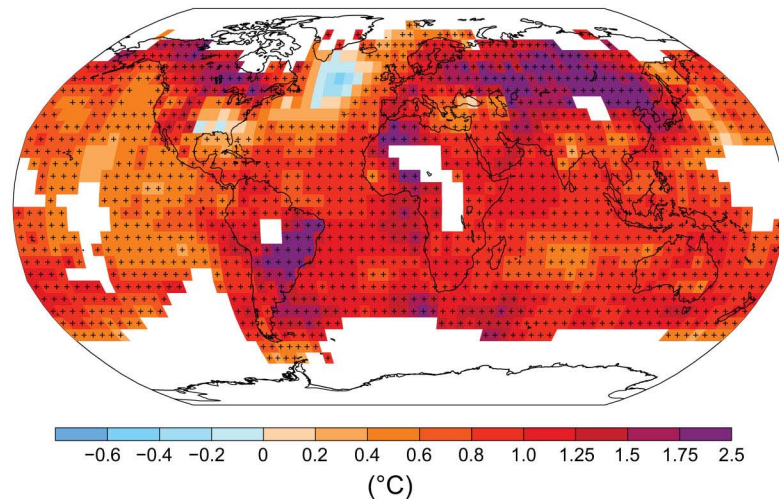


Рис. 1.1. Карта зміни приземної температури з 1901 по 2012 р. [9]

казані білим кольором. Коіркам сітки, для яких статистична значущість тренду досягає 10% відповідає знак <<+>>.

Реконструкції значень приземної температури в континентальному масштабі показують із високим ступенем вірогідності наявність десятиліть, що охоплюють багато періодів за час середньовічної кліматичної аномалії (950–1250 рр.), які були в деяких регіонах такими ж теплими, як при потеплінні в кінці ХХ ст. Однак необхідно зауважити, що ці регіональні теплі періоди не були настільки узгодженими в різних регіонах, як при потеплінні наприкінці ХХ ст. Концентрації двоокису вуглецю, метану та оксидів азоту в атмосфері зросли до рівнів, що є безпрецедентними щонайменше за останні 800 тис. років [9].

Концентрації двоокису вуглецю збільшилися на 40 % з доіндустріального періоду, по-перше, за рахунок викидів від спалювання викопного палива, і, по-друге, за рахунок нетто-викидів у результаті змін у землекористуванні. Річні викиди CO_2 , пов'язані із спалюванням викопного палива та виробництва цементу, в середньому становили 8,3 (7,6–9) Гт В в рік у 2002–2011 рр. та 9,5 (8,7–10,3) Гт В в рік у 2011 р., тобто були на 54 % вищими, ніж у 1990 р. Чиста річна емісія CO_2 в результаті змін в антропогенному землекористуванні склала в середньому 0,9 (0,1–0,7) Гт В в рік за період 2002–2011 рр. (1 Гт вуглецю = 1 Гт В = 1015 г вуглецю, що відповідає 3,667 Гт CO_2)

З 1750 по 2011 р. у результаті спалювання викопного палива та виробництва цементу в атмосферу вивільнилося 375 (345–405) Гт В, при цьому викиди, що пов'язані з обезлісненням та іншими змінами в землекористуванні оцінюються в 180 (100–260) Гт В. Таким чином, сукупна антропогенна емісія склала 555 (470–640) Гт В.

З цієї сукупної антропогенної емісії CO_2 240 (230–250) Гт В накопичено в атмосфері, 155 (125–185) Гт В поглинуто океаном і 160 (70–250) Гт В акумульовано в природних екосистемах суші (тобто сукупне остаточно поглинання ґрунтом) [9].

Факторами, що впливають на зміну клімату, є природні та антропогенні речовини і процеси, які змінюють енергетичний баланс Землі. Якщо не узначено інше, то радіаційний вплив (РВ) є кількісним показником зміни енергетичних потоків, викликаних зміною цих факторів до 2011 р. у порівнянні з 1750 р. Позитивне значення РВ веде до підвищення температури поверхні, а негативне — до її зниження. РВ оцінюється на основі даних спостережень, здійснюваних на місці, і дистанційного зондування, властивостей ПГ і аерозолів, а також розрахунків з використанням чисельних моделей, що описують спостережувані процеси. Деякі сполуки, що викидаються, впливають на концентрації інших сполук в атмосфері. Інформація із РВ може бути представлена на основі зміни концентрації кожної з речовин. У якості альтернативи можуть повідомлятися дані про РВ, що ґрунтується на сукупності емісій і краще відображає безпосередній ефект людської діяльності. Таке РВ включає внесок усіх речовин, що зазнали даних емісій. При урахуванні всіх факторів емісій загальне антропогенне РВ в обох підходах ідентичне. Хоча останнім часом більше уваги приділяють саме РВ на основі сукупності емісій. Ступінь впливу факторів кількісно оцінюється як РВ у ватах на квадратний метр ($\text{Вт} \times \text{м}^{-2}$), як і в попередніх оцінках МГЕЗК. РВ — це зміна енергетичних потоків, що викликана яким-небудь фактором і розраховується в тропосфері або у верхніх шарах атмосфери. У традиційній концепції РВ, яка використовувалася в попередніх доповідях МГЕЗК, малося на увазі, що всі поверхневі і тропосферні умови незмінні [9].

Але у [9] в розрахунках РВ для ідеально перемішаних ПГ і аерозолів допускається, що фізичні змінні, крім океанського та морського льоду, можуть швидко пристосовуватися до збурювань. Тому сьогодні підсумкове РВ називається ефективним радіаційним впливом (ЕРВ). Така зміна відбиває науковий прогрес, досягнутий за останній час, і доз-

воляє краще відображати поступовий температурний відгук на дію цих факторів. Для всіх факторів, крім ідеально перемішаних ПГ і аерозолів, швидке пристосування не настільки характерне та вважається незначним, тому для них використовується традиційне РВ.

Тільки від викидів CO_2 РВ дорівнює 1,68 (1,33–2,03) $\text{Вт} \times \text{м}^2$. З урахуванням емісії інших вуглецевмісних газів, які також сприяли підвищенню концентрацій CO_2 , РВ від CO_2 складає 1,82 (1,46–2,18) $\text{Вт} \times \text{м}^2$.

Розуміння недавніх змін кліматичної системи ґрунтується на комбінації спостережень, вивченні зворотних зв'язків і моделюванні. Оцінка здатності кліматичних моделей відтворювати недавні зміни вимагає враховувати стан всіх компонентів кліматичної системи, що моделюється на початку моделювання, а також природних і антропогенних впливів, які використовуються в розрахунках.

Вплив людини на кліматичну систему є очевидним. Про нього свідчать збільшення концентрацій ПГ в атмосфері, позитивний РВ, спостережуване потепління та загальне розуміння кліматичної системи.

Внесок ПГ у підвищення середньої глобальної приземної температури в 1951–2010 рр., імовірно, знаходиться у діапазоні 0,5–1,3°C, при цьому внесок інших антропогенних факторів, включаючи охолоджуючий ефект аерозолів, очевидно, коливається від –0,6 до 0,1°C. Внесок природних факторів, імовірно, становить від –0,1 до 0,1°C, і на частку внутрішньої мінливості, вочевидь припадає від –0,1 до 0,1°C. У своїй сукупності ці оцінки ролі кожного з факторів відповідають спостережуваному потеплінню за цей період, тобто приблизно 0,6–0,7°C [9].

Триваюча емісія ПГ буде причиною подальшого потепління і змін у всіх компонентах кліматичної системи. Обмеження кліматичних змін буде потребувати значного і безперервного зниження викидів ПГ.

Проекції на наступні кілька десятиліть демонструють просторову картину змін клімату, аналогічну прогнозу на кінець ХХ ст., але з більш низькими значеннями. Природна внутрішня мінливість буде, як і раніше, головним чинником, що впливає на клімат, особливо в короткостроковій перспективі та у регіональному масштабі.

Потепління буде продовжувати демонструвати мінливість на інтервалах від року до десятиліття і у регіональному масштабі не буде однорідним.

Практично визначено, що у міру підвищення середніх глобальних температур над більшою частиною поверхні суходолу в добовому і сезонному часових масштабах будуть більш часто спостерігатися екстремально високі та рідше — екстремально низькі температури.

Досить імовірно, що хвилі тепла будуть наступати більш часто та будуть тривалішими. Як і раніше в зимовий час подекуди будуть спостерігатися екстремально низькі температури.

Зміна клімату торкнеться процесів вуглецево-

го циклу, що приведе до підвищення вмісту CO_2 в атмосфері. Сукупні викиди CO_2 значною мірою будуть впливати на підвищення середньої глобальної приземної температури до кінця ХХІ ст. та в подальшому. Більшість аспектів зміни клімату будуть відмічатися протягом багатьох сторіч, навіть якщо викиди CO_2 припиняться. Це є відбиттям істотної інерції зміни клімату впродовж багатьох сторіч, спричиненої минулими, сучасними та майбутніми викидами CO_2 .

Сукупні сумарні викиди CO_2 і реакція середньої глобальної приземної температури характеризуються практично лінійною залежністю (рис. 1, 2) [9].

Результати, одержані по багатьох моделях класу “клімат – вуглецевий цикл” для кожного сценарію РТК (Сценарії – Representative Concentration Pathways (RCPs) – визначено за приблизним сукупним РВ для 2100 р. порівняно до 1750 р.: 2,6 $\text{Вт}/\text{м}^2$ для RCP 2,6; 4,5 $\text{Вт}/\text{м}^2$ для RCP 4,5; 6,0 $\text{Вт}/\text{м}^2$ для RCP 6,0 та 8,5 $\text{Вт}/\text{м}^2$ для RCP 8,5) до 2100 р., показані кольоровими лініями і середніми десятилітніми значеннями (точки). Деякі десятилітні середні позначені цифрами (наприклад, 2050 означає десятиліття 2040–2049 рр.). Результати, отримані на моделі за історичний період (1860–2010 рр.), показані чорним кольором. Кольоровий шлейф ілюструє міжмодельний розкид по чотирьох сценаріях РТК, а його менша яскравість показує зменшення кількості моделей у сценарії РТК 8,5. Середнє значення і діапазон розраховані по моделях ПССМ5, з урахуванням зростання CO_2 на 1 % в рік (розрахункове зростання CO_2 на 1 % у рік), показані тонкою чорною лінією і сірим кольором. Для конкретного обсягу сукупних викидів CO_2 розрахунки зростання CO_2 на 1 % в рік дає менше потепління, ніж у випадку із РТК, які включають додаткові впливи інших, ніж CO_2 , газів. Значення температури приводяться щодо базового періоду 1861–1880 рр., а викиди — відносно 1870 р. Середні значення по десятиліттях з'єднуються прямими лініями [9].

Кожен конкретний рівень потепління пов'язаний з діапазоном сукупних викидів CO_2 , і тому, наприклад, вищі рівні викидів у більш ранні десятиліття передбачають нижчі викиди в наступний період.

Обмеження потепління, викликаного тільки антропогенними викидами CO_2 , з 1861–1880 рр. з імовірністю >33 %, >50 % та >66 %, що не перевищує рівень 2°C, потребує, щоб сукупні викиди CO_2 із всіх антропогенних джерел залишалися на рівні 0–1570 Гт В (5760 Гт CO_2); 0–1210 Гт В (4440 Гт CO_2) та 0–1000 Гт В (3670 Гт CO_2) після зазначеного періоду, відповідно [9].

Для досягнення більш низького розрахункового показника потепління або забезпечення більш високої імовірності не перевищення конкретного температурного показника буде потрібно зниження рівнів сукупних викидів CO_2 [9].

Враховуючи зазначене, необхідно відмітити,

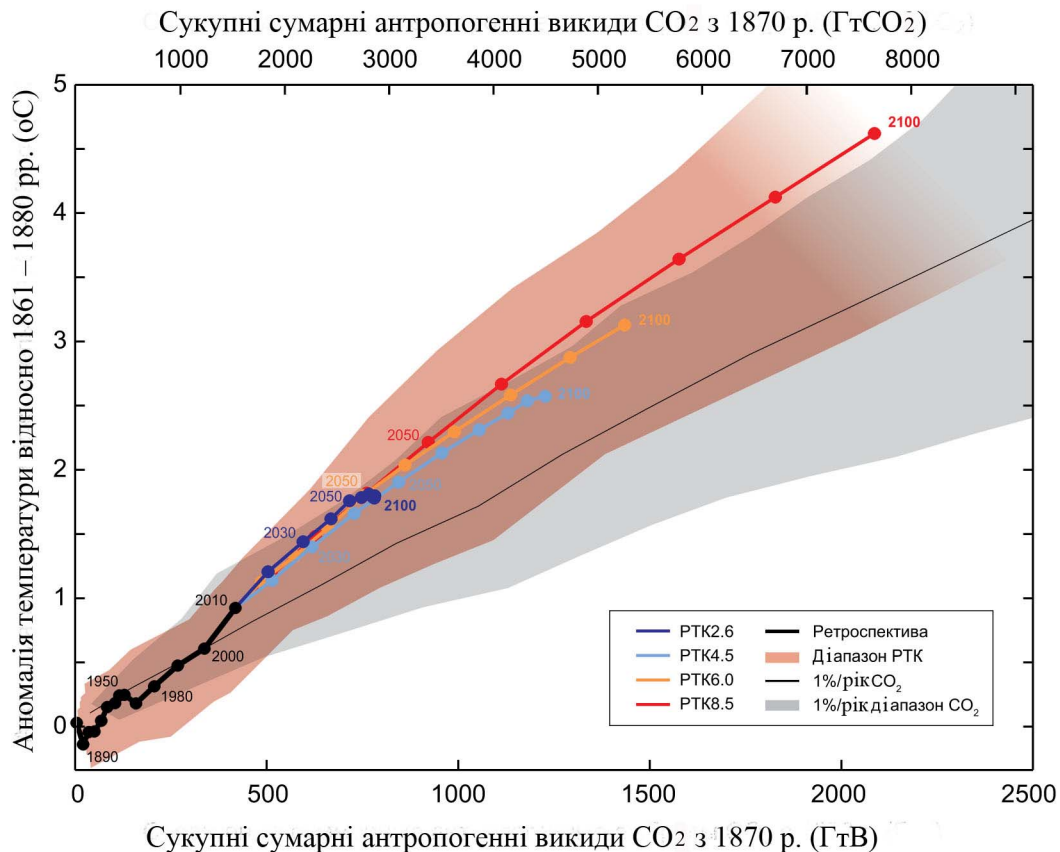


Рис. 1. 2. Підвищення середньої глобальної приземної температури як функція сукупних глобальних викидів CO₂, отриманих за різними даними [9]

що для контролю рівня CO₂ в атмосфері в останнє десятиріччя почали активно залучати дані отримані з супутників, які перш за все надають можливість постійного контролю за концентрацією вуглекислого газу в атмосфері. В процесі технічного вдосконалення супутників, що несуть на собі сенсори по визначенню CO₂ в атмосфері, розробки та оптимізації алгоритмів обробки даних, що вони отримують, з'являються можливості обчислювати більш якісні глобальні сценарії змін і оцінювати з більшою точністю істотні регіональні зміни спричинені зростанням концентрації CO₂. Це є важливим для виявлення зв'язку між природними і антропогенними компонентами глобальних змін, а також між глобальними тенденціями та регіональними особливостями.

Необхідно зазначити, що технічні можливості по оцінці концентрації CO₂ супутниковими методами з'явилися у 2002 р., коли були задіяні супутники Envisat-1 та Aqua, на яких розміщуються сенсори відповідно SCIAMACHY та AIRS, що визначають вміст ПГ в атмосфері. В працях таких іноземних науковців, як M. Buchwitz, M. Reuter, Oliver Schneising, Edward T. Olsen, Thomas S. Pagano, H. Takagi, I. Morino, розроблено алгоритми визначення концентрацій за даними сенсорів, проведена верифікація на окремих ділянках, оцінена загальна достовірність визначення концентрації для деяких типів підстильної

поверхні, отримані глобальні розподіли концентрацій ПГ, визначені напрями роботи з розрахунків концентрації на регіональному масштабі.

В подальшому на основі досвіду, що був отриманий від попередніх місій та зважаючи на необхідність більш детального визначення емісій та абсорбцій CO₂, були запущені ще більш технічно досконалі супутники такі, як розроблені японським космічним агентством JAXA супутники GOSAT (запуск успішно відбувся у 2009 р.) та запущений NASA у 2014 р. супутник OCO-2 (Orbiting Carbon Observatory-2), характеристики та можливості якого по оцінці концентрації CO₂ в атмосфері значно перевищують всі попередні місії цього призначення. В подальшому міжнародним співтовариством планується запуск (рис. 1. 3) [3] ще цілого ряду супутникових місій, спрямованих, зокрема, на визначення концентрації CO₂ в атмосфері, які були обговорені на конференції, що відбулась в м. Амстердам у 2014 р. [18].

Крім того, на конференції ставилися такі питання. Так, Секретаріатом GCOS (Global Climate Observing System), зазначається, що точні знання про суттєві кліматичні змінні (ECVs) необхідні для підтримки роботи РКЗК ООН та МГЕЗК. Для цього необхідно здійснення плану глобального моніторингу кліматичної системи, в тому числі особливо ПГ. В зв'язку із цим було розроблено документ [15], що містить в собі вимоги до даних супутникового

Супутник, інструмент (агентство)	CO ₂	CH ₄	FOV	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
ENVISAT SCIAMACHY (ESA)	•	•	30x60 km ²														
GOSAT TANSO-FTS (JAXA-NIES-MOE)	•	•	10.5 km (d)														
OCO-2 (NASA)	•		1.29x2.25 km ²														
TanSat (CAS-MOST-CMA)	•		1x2 km ²														
OCO-3 (NASA)	•		~4 km ²														
GOSAT-2 TANSO-FTS (JAXA-NIES-MOE)	•	•	10.5 km (d)														
MicroCarb (CNES)	•		~25 km ²														
PCW-PHEOS-FTS (CSA)	?	•	10x10 km ²														
CarbonSat (ESA)	•	•	2x3 km ²														
ASCENDS (NASA)	•		0.100 km (w)														
Умовні позначення				d = діаметр w = ширина полоси огляду функціонуючі плануються розглядаються продовження місії													

Рис. 1.3. Супутникові місії, спрямовані на визначення концентрації CO₂ в атмосфері

Таблиця 1.1

Цільові вимоги до супутникових даних по CO₂ та CH₄

Змінна/параметр	Горизонтальне розрізнення	Вертикальне розрізнення	Часове розрізнення	Точність	Похибка
Тропосферна колонка CO ₂	5–10 км	N/A	4 h	1 ppm	0.2 ppm
Тропосферний CO ₂	5–10 км	5 км	4 h	1 ppm	0.2 ppm
Тропосферна колонка CH ₄	5–10 км	N/A	4 h	10 ppb	2 ppb
Тропосферний CH ₄	5–10 км	5 км	4 h	10 ppb	2 ppb
Стратосферний CH ₄	100–200 км	2 км	Доба	5 %	0.3 %

спостереження по систематичному спостереженню за кліматом, зокрема для даних про ПГ (табл. 1. 1).

В ході конференції [18] також було сформульовано деякі вимоги: наприклад, супутники дистанційного зондування Землі повинні мати точність вимірювання для даних XCO₂ і XCH₄ на рівні 0,1–0,2% з розрізненням 1–2 км, щоденною часовою дискретизацією, охопленням зйомкою всієї земної кулі з часовим інтервалом вибірки від 20 хв. до 1 год.

Одним з важливих досягнень в напрямі розвитку спостережень за ПГ є результати, які були отримані в ході проекту Climate Change Initiative (CCI) за підтримки Європейського космічного агентства. Деякі результати цього проекту були представлені на конференції [17], наприклад зміни поширотних розподілів у часі для CO₂ та CH₄ (рис. 1. 4, 1. 5).

Необхідно відмітити, що в ході проекту використовувалися спільно дані, отримані з супутника GOSAT (сенсор Tanso-FTS) та супутника Envisat (сенсор SCIAMACHY), що надало можливість одержати більш повні карти розподілів досліджуваних ПГ.

В ході дискусій на конференції з приводу стратегій для використання супутникового моніторингу в області визначення джерел CO₂ було окреслено основні перспективні переваги супутникової зйомки, їх сучасні проблеми та майбутні перспективи. Наведемо найбільш актуальні моменти вказаної дискусії.

Супутникові зйомки для вимірів концентрації ПГ [13]

1. Основна перевага:

- рівномірне покриття земної кулі;
- висока розрізненість.

2. Основні проблеми:

- висока точність, яка необхідна для виявлення і кількісної оцінки малих (<0,25 %) коливань CO₂, пов'язаних з джерелами і поглиначами;
- необхідність мінімізації просторових і часових зрушень.

3. Виклики майбутнього:

- проблеми, пов'язані із покривом хмар;
- необхідність поліпшення часового дозволу;
- дискретизація приповерхневого шару.

Проблеми пов'язані з вимірами [13]:

- експлуатуючі "візуалізації" інформації супутників, як CarbonSat, покращення відношення сигнал-шум (наприклад темна поверхня);
- скорочення кількості похибок внаслідок просторової варіації в хмарах і аерозолі (хмари, тіні, суміжності і т. д.);
- захоплення просторової когерентності світлового потоку інверсії моделей;
- збереження просторово-часових кореляцій малих газових аномалій і вертикальні/горизонтальні рухи;

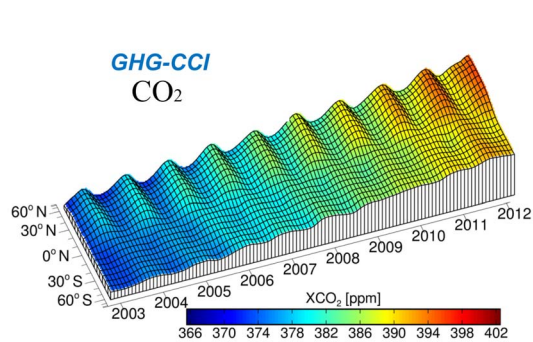


Рис. 1.4. Динаміка поширених змін концентрації CO_2 з 2003 по 2012 р. [6]

- відмінність поблизу поверхні варіації ПГ (місцевих джерел/стоків) від перенесених (віддалених джерел/стоків);
- пасивні методи (сонячних та термічних);
- проблеми з відображенням сонячних і теплових вимірів викидів;
- жорсткі вимоги для точності та нахилу;
- обмеження просторового охоплення.

Більш детально цілі майбутніх досліджень, спрямованих на моніторинг концентрацій ПГ викладені в роботі [19].

В Україні використання даних супутникового спостереження по оцінці концентрації CO_2 надало можливість фахівцям Державної установи “Науковий Центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України” (ЦАКДЗ) розрахувати динаміку зміни концентрації CO_2 та CH_4 в атмосфері як для України в цілому, так і для кожної адміністративної області окремо (рис. 1.6–1.7) [1].

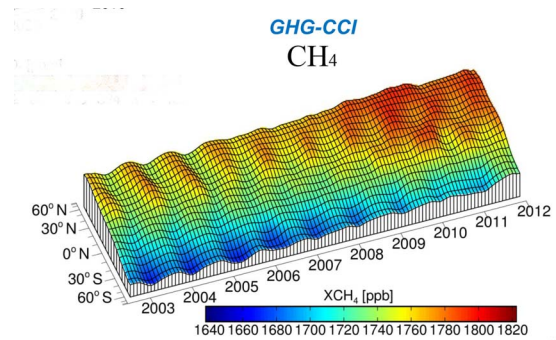


Рис. 1.5. Динаміка поширених змін концентрації CH_4 з 2003 по 2012 р. [7]

30 грудня 2014 року на сайті NASA (National Aeronautics and Space Administration) [4], була викладена перша карта глобального розподілу CO_2 отримана космічним апаратом OCO-2. З указаної карти фахівцями ЦАКДЗ були отримані дані про розподіл концентрації CO_2 для території України (рис. 1.8).

Отримані значення концентрації CO_2 вище ніж аналогічні значення за більше ранні періоди, що відповідає загальним тенденціям по підвищенню концентрації CO_2 в атмосфері.

Для оцінки достовірності даних супутникового спостереження було використано критерій, який дозволив врахувати розбіжності у просторово-часових розподілах описів досліджуваних параметрів моделями та вимірами супутникових спостережень. Тобто розбіжності в розрізненні моделі та різних даних супутникового спостереження враховували-

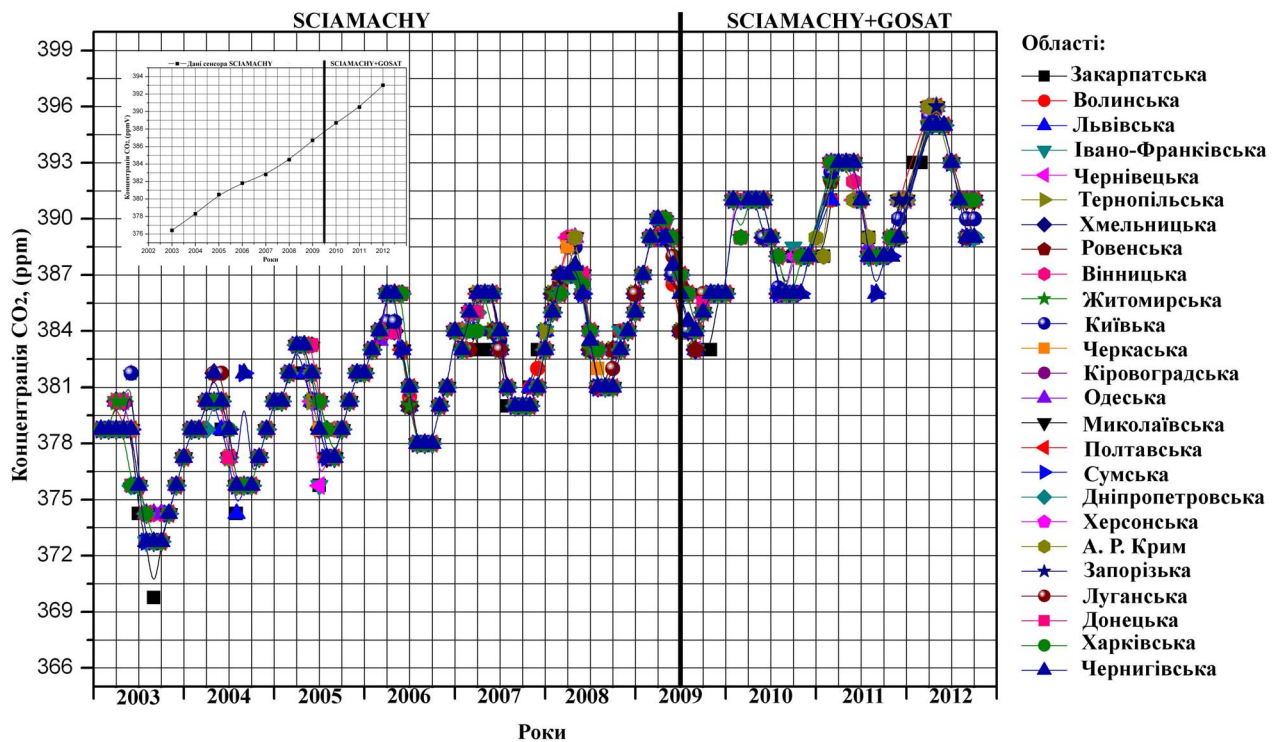


Рис. 1.6. Динаміка змін концентрації CO_2 над територією України за даними супутникового спостереження

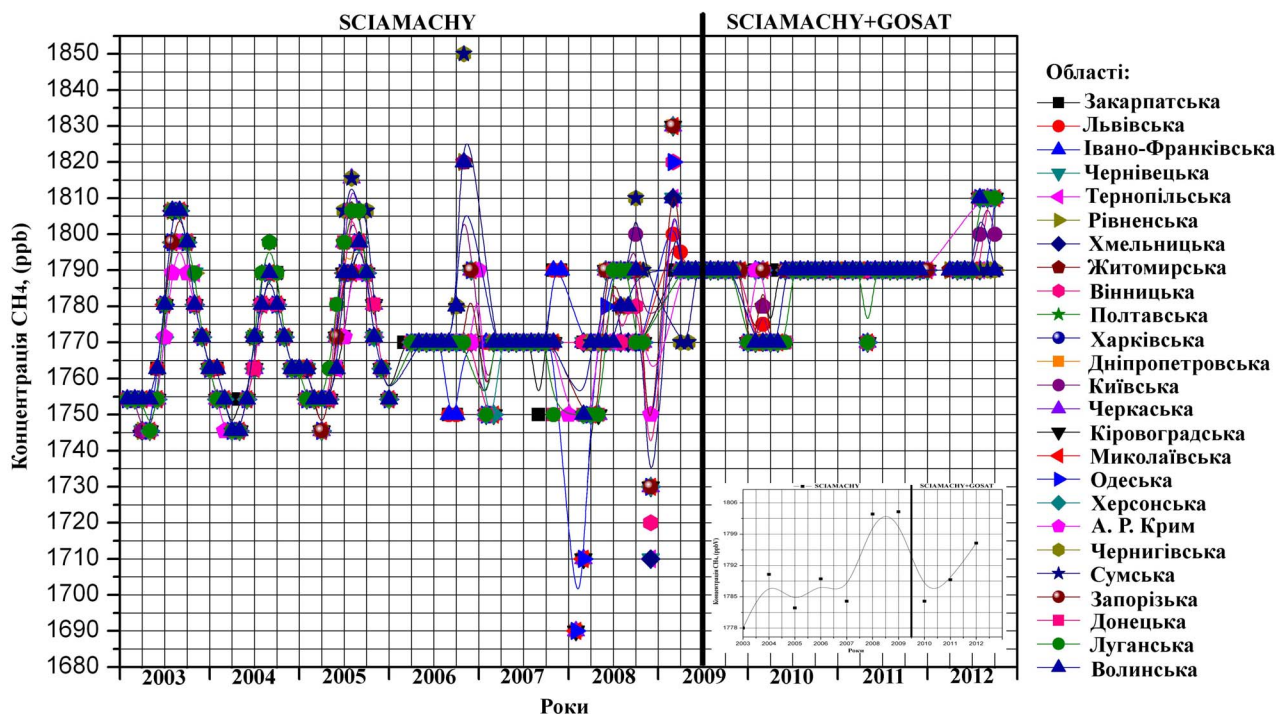


Рис. 1.7. Динаміка змін концентрації CH_4 над територією України за даними супутникового спостереження

ся шляхом введення коефіцієнта відносної достовірності оцінювання за послідовною кореляцією окремих вимірювань (табл. 1, 2, 1, 3).

Отримані результати надали додаткові можливості для вирішення таких задач:

1. Оптимізація контролю за емісіями CO_2 в атмосферу (що є важливим у рамках зобов'язань, які взяла на себе Україна, підписавши Кіотський протокол).

2. Оцінка динаміки змін концентрації CO_2 в атмосфері (що дозволяє змодельовати подальші сценарії розвитку динаміки CO_2 в атмосфері, що, в свою чергу, допоможе у визначенні зміни кліматичних показників в атмосфері та оптимізувати соціо-економічну стратегію адаптації країни до загроз, що несуть зміни кліматичних показників для території України).

Зважаючи на те, що технічні можливості супутників зростають та актуальність застосування їхніх даних для оцінки змін концентрації CO_2 в атмосфері, що підтверджує досвід вже проведених робіт, подальші дослідження будуть більш спрямовані на оптимізацію моніторингу, виявлення та контроль джерел емісій вуглецю і моделювання тенденції зміни майбутніх кліматичних показників. Це є важливим для виявлення зв'язку між природними і антропогенними компонентами глобальних змін, а також між глобальними тенденціями та регіональними особливостями.

Протягом 2013–2014 рр. в Україні здійснювався міжнародний проект Climate Forum East [11]. Проект став можливим за підтримки Європейського Союзу (EU), Австрійського агентства з розвитку (ADA), Ав-

стрійського червоного хреста (ARC) та Всесвітнього фонду дикої природи (WWF). Загальну координацію проекту здійснювали представники Австрійського червоного хреста. Проект об'єднав дослідників з Арменії, Азербайджану, Грузії, Білорусії, України та Молдови над вивченням проблем зміни клімату на території цих країн, оцінки вразливості та розробленні рекомендаційних адаптаційних заходів щодо змін клімату.

Українській авторській колектив у складі: О. Шевченко, О. Власюк, І. Ставчук, М. Ваколюк, О. Ільш, А. Рожкова провів дослідження, результати якого ввійшли у публікацію "Оцінка вразливості до зміни клімату: Україна" [7]. 8–9 жовтня 2014 р. у Мінську (Республіка Білорусь) відбувся фінальний з'їзд учасників міжнародного проекту "Climate Forum East", в



Рис. 1.8. Концентрації CO_2 над територією України за даними сенсора OCO-2 в період з 1 жовтня по 11 листопада 2014 року

Таблиця 1.2.

Коефіцієнти відносної достовірності оцінювання окремих розрахованих даних

Середньомісячна концентрація CO ₂ за 2003–2005 рр. для території України	Сенсор		Carbon Tracker	Mauna Loa (дані по Північній півкулі)
	AIRS	SCIAMACHY		
Сенсор AIRS		0.52	0.40	0.82
Сенсор SCIAMACHY	0.52		0.85	0.58
Carbon Tracker –	0.40	0.85		0.38
Mauna Loa (дані по Північній півкулі)	0.82	0.58	0.38	

Таблиця 1.3.

Коефіцієнти відносної достовірності оцінювання окремих розрахованих даних

Середньомісячна концентрація CO ₂ з квітня по жовтень 2009 р. для території України	Сенсор		Mauna Loa (дані по Північній півкулі)
	AIRS	TANSO-FTS	
Сенсор AIRS		0.94	0.77
Сенсор TANSO-FTS	0.94		0.66
Mauna Loa (дані по Північній півкулі)	0.77	0.66	

якому країнами-учасниками проекту були обговорені результати напрацювань.

На секціях “CSO робота в напрямку адаптації до кліматичних змін в Білорусії, Молдові та Україні”, “Створення Форуму кліматичних експертів Східного партнерства” та “Пропагування фондів на адаптацію до змін клімату: індикативні системи страхування” ставилися питання впливу зміни клімату на екосистеми Молдови, Білорусії та майбутніх заходів щодо адаптації до кліматичних змін. Доповідь українських вчених була присвячена оцінці вразливості до кліматичних змін у містах України та результатам вже проведених оцінок.

Презентація Андрея Краньця (Andrej Kranjc) — координатора Словенії по IPCC “Спільні дії з адаптації до зміни клімату в країнах Східного Партнерства”, оприлюднила матеріали п'ятого звіту IPCC (AR 5) та результатам робіт трьох робочих груп експертів та науковців. Зокрема, були подані такі висновки та прогнози оцінки експертів:

- атмосферні концентрації ПГ — CO₂, CH₄, N₂O збільшилися з 1750 р. в результаті діяльності людини;
- в 2011 р. концентрація ПГ — CO₂, CH₄, N₂O складала 391 ppm, 1803 ppb та 324 ppb і перевищувала допромисловий рівень приблизно на 40, 150 та 20 % відповідно;
- річні викиди CO₂ пов'язані із спалюванням викопного палива та виробництвом цементу, становили в середньому 8,3 [7,6–9,0] Гт С рік⁻¹ в 2002–2011 рр. (високий ступінь вірогідності) і 9,5 [8,7–10,3] Гт С рік⁻¹ в 2011 р., тобто були на 54 % вище рівня 1990 р.;
- згідно з прогнозами [6], зміна середньої глобальної приземної температури за період 2016–2035 рр. в порівнянні із 1986–2005 рр. буде, ймовірно, в діапазоні 0,3–0,7°C (середній ступінь віро-

гідності). Порівняно із середніми значеннями за 1850–1900 рр. зміна глобальної приземної температури до кінця XXI ст. ймовірно перевищить 1,5°C відповідно до прогнозів за сценаріями РТК * 4,5, РТК 6,0 і РТК 8,5 (високий ступінь вірогідності);

- за різних сценаріїв прогнозів є вірогідності, що вказують на зміну глобальної приземної температури на 2°C за одними сценаріями та на 4°C за іншими сценаріями до кінця XXI ст. [6].

Детально із результатами прогнозів та звітами можна ознайомитися на офіційному веб-сайті МГЕЗК [3].

Другий період зобов'язань за Кіотським протоколом завершується у 2020 р. Країнами, які взяли на себе зобов'язання по зменшенню викидів, є 27 країн ЄС, Норвегія, Швейцарія, Ісландія, Ліхтенштейн, Монако, Австралія, Україна, Білорусь та Казахстан [8]. Їх частка в світових викидах ПГ становить близько 15 %. У другому періоді зобов'язань за Кіотським протоколом брати зобов'язання по скороченню викидів відмовилися Росія, Канада, Японія, Нова Зеландія. США, Китай та Індія взагалі не брали на себе зобов'язань по Кіотському протоколу. Нову кліматичну угоду планують підписати в 2015 р.

За результатами переговорів у 2013 р. в Досі (Катар) Україна взяла зобов'язання скоротити викиди на 20 % від рівня 1990 р. до 2020 р. [13]. Станом на жовтень 2014 р., це зобов'язання не ратифіковане українським урядом [15].

З 1 по 12 грудня 2014 р. в м. Ліма (Республіка Перу) відбулася Конференція зі зміни клімату, а також 20-та сесія Сторін Кіотського протоколу і 10-та сесія нарада Сторін Кіотського протоколу. На конференції будуть підніматися питання політики Кіотського протоколу, глобальні цілі з адаптації, джерела фінансування заходів щодо адаптації, закріплення зобов'язань за країнами.

Сьогодні Державне агентство екологічних інвестицій України, до функцій якого входило виконання вимог Рамкової конвенції Організації Об'єднаних

* РТК — репрезентативні траєкторії концентрацій [12]

Націй про зміну клімату та Кіотського протоколу, а також реалізація державної політики у сфері регулювання негативного антропогенного впливу на зміну клімату та адаптації, постановою Кабінету міністрів України № 442 від 10 вересня 2014 року “Про оптимізацію системи центральних органів виконавчої влади”, є ліквідованим. Функції ліквідованого агентства екологічних інвестицій перейняло на себе Міністерство екології та природних ресурсів. Міністерство переймає завдання з адаптації до кліматичних змін на території України та, можливо, змінить офіційну позицію України щодо кількості запланованих одиниць викидів парникових газів Україною в другому періоді зобов’язань. В офіційній Позиції неурядових екологічних організацій щодо пост-Кіотської угоди [5] вказано, що згідно з одним із сценаріїв Україна може скоротити викиди на –58% від рівня 1990 р. у другий період зобов’язань. Тому Україна може взяти на себе амбітніші цілі зі скорочення викидів ПГ протягом другого періоду Кіотського протоколу.

В 2014 р. Комітет зі супутникового спостереження Землі (CEOS), який виступає в ролі міжнародного координатора програм з цивільних космічних спостережень Землі і сприяє обміну даними в рамках оптимізації суспільного благополуччя та інформування при прийнятті рішень для забезпечення сталого розвитку людства, випустив свій черговий звіт [12] стосовно стратегії по дослідженню вуглецевого балансу з космосу, опублікованої в 2010 р. В даному звіті детально описані минулі, сучасні та заплановані на майбутнє супутникові місії, спрямовані на вивчення наземного, океанічного та атмосферного вуглецю. Визначені найважливіші виклики, пов’язані з супутниковим спостереженням вуглецю, і дії, що необхідно спрямувати на їх вирішення. Розробка такої стратегії була викликана необхідністю покращення нашого обмеженого розуміння глобального вуглецевого циклу, адже це може стати вирішальним елементом у прогнозуванні можливих соціо-економічних змін, пов’язаних з кліматичними змінами. А постійний розвиток і удосконалення методів дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) відкриває нові перспективи в даній області.

CEOS-стратегія передбачає чотири основних напрями з вивчення вуглецевого балансу:

- оцінка наземного вуглецю;
- оцінка океанічного вуглецю;
- оцінка вуглецю атмосфери;
- інтеграція результатів.

Головні елементи системи моніторингу наземного вуглецю включають спостереження та моделювання: а) потоків CO_2 та CH_4 між атмосферою та наземним покривом; б) змін у наземних вуглецевих резервуарах; в) динаміки екосистем; (г) головних режимів порушення; д) винесення вуглецю з наземних біомів.

Численні моделі первинних компонентів наземного вуглецевого циклу були розроблені на основі інформаційних продуктів, отриманих з використанням даних супутникових систем дистанційного зондування. Такі моделі включають моделі вивільнення вуглецю внаслідок згорання біомаси, моделі валової та чистої первинної продуктивності екосистем. Крім того, існує ряд інших моделей наземного вуглецю, що базуються на вхідних даних, отриманих методами ДЗЗ. Для прикладу, в моделі екосистемної демографії було використано дані висоти рослинного покриву, отримані авіаційним лідаром, для оцінки стану екосистем.

Вуглекислий газ в океані є досить активним. Беручи участь в фізико-хімічних та біологічних процесах і проходячи різні шляхи він може переходити зі зваженої форми в розчинну і навпаки. Океани є досить динамічними системами з притаманною їм значною мінливістю на різних масштабах. Тому при їх вивченні завжди постає питання нестачі відбору зразків. Дослідження *in situ*, які базуються на відборі проб з морських суден і буїв, не можуть забезпечити адекватного просторового охоплення, необхідного для виявлення будь-яких потенційних змін з накладанням на довгостроковий тенденції. Супутники ж забезпечують повторювані спостереження з глобальним охопленням, які можуть бути використані як засіб для екстраполяції та інтеграції прямих спостережень. Особливо це стосується горизонтальної площини на поверхні. Крім того, супутники можуть надавати інформацію по низці багатьох інших фізичних чинників, які впливають на переміщення вуглецю в самому океані та обмін вуглецем між океаном та атмосферою.

Вивчення вуглецю атмосфери методами ДЗЗ базується на спектроскопічних вимірюваннях відбитого сонячного світла молекулами CO_2 та CH_4 . Такі вимірювання є надзвичайно важливими для оцінки приповерхневих потоків CO_2 , оскільки їх результати можуть бути використані для отримання поверхнево-зважених оцінок мольних частинок CO_2 та CH_4 в усереднених колонках сухого повітря. SCIAMACHY і GOSAT були двома піонерними проектами, що використовували даний підхід. А в найближчому майбутньому заплановано ще цілий ряд подібних супутникових місій – OCO-2 (Orbiting Carbon Observatory), OCO-3, TanSat, GOSAT-2, MicroCarb, CarbonSat, ASCENDS.

При цьому в звіті важливе місце відводиться інтеграції результатів, отриманих в різних напрямках, для повного охоплення глобального циклу вуглецю. Елементи такої інтеграції включають таке:

- міждисциплінарна інтеграція: розуміння планетарного циклу вуглецю вимагає інтеграції різноманітних наукових дисциплін (фізика, хімія, біологія, біогеохімія, екологія, соціологія та ін.);
- інтеграція між напрямками вивчення: розуміння

змін циклу вуглецю та проведення діяльності по пом'якшенню його впливу вимагає врахування взаємодії між собою головних глобальних вуглецевих резервуарів (океан, земний покрив, атмосфера);

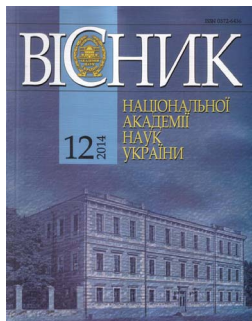
- інтеграція систем спостереження: взаємодія системи наземних спостережень (in situ) з системами супутникового спостереження є надзвичайно важливим елементом створення системи вуглецевого моніторингу планетарного масштабу;
- інтеграція безпосередніх вимірювань з результатами моделювання: порівняння результатів безпосередніх вимірів з модельованими є критичним для розуміння вуглецевого циклу та прогнозування впливу його змін на кліматичну систему і навпаки;
- міжсенсорна інтеграція: вивчення вуглецевого циклу і кліматичних змін вимагає тривалих часових рядів даних. Проте тривалість життя окремих сенсорів, як правило, не дозволяє отримати достатньо тривалих часових рядів. А тому важливим є стандартизація сенсорів, які могли б доповнювати один одного;
- інтеграція продуктів: попри те, що забезпечення даними є головним завданням систем спостереження, не менш важливим елементом є обробка та аналіз отриманих даних та доступ до них.

Література до розд. 1

1. Лялько В. І. Дослідження впливу змін CO₂ та CH₄ в атмосфері на клімат за матеріалами космічних зйомок / В. І. Лялько, О. І. Сахацький, Ю. В. Костюченко [та ін.] // Геол. журн. — 2007. — № 4 (321). С. 7—16.
2. Офіційний веб-сайт проекту Climate Forum East. Червоний хрест, 2013–2014 рр. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: www.climateforumeast.org.
3. Офіційний веб-сайт Міжурядової групи експертів по зміні клімату (МГЕЗК) — <http://www.ipcc.ch/>.
4. Офіційний веб-сайт NASA. [Електронний ресурс]. — <http://www.nasa.gov/sites/default/files/thumbnails/image/mainco2mappa18934.jpg>.
5. Пропозиції до формування офіційної позиції України на переговорах з питань зміни клімату у Варшаві (2013). Робоча Група неурядових екологічних організацій України з питань зміни клімату. — 2010. — 6 ст. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://climategroup.org.ua/wp-content/uploads/2007/02/propoz2013.pdf>.
6. Резюме для политиков. Содержится в публикации “Изменение климата, 2013 г.: Физическая научная основа. Вклад Рабочей группы I в Пятый доклад об оценке Межправительственной группы экспертов по изменению климата”. [Стокер, Т.Ф., Д. Цинь, Дж.-К. Платтнер, М. Тигнор, С. К. Аллен, Дж. Бошунг, А. Науэлс, Ю. Ся, В. Бекс и П. М. Мидглей (редакторы)]. МГЭИК. — Кембридж: Университи Пресс, Кембридж, Соединенное Королевство и Нью-Йорк, США. 2013 г. — Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5_SPM_brochure_ru.pdf.
7. Шевченко О., Власюк О., Ставчук І., Ваколюк М., Ільяш О., Рожкова А. Оцінка вразливості до зміни клімату: Україна. Кліматичний форум східного партнерства, Робоча група громадських організацій зі зміни клімату, 2014. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: http://climategroup.org.ua/wp-content/uploads/2014/07/ukraine_cc_vulnerability.pdf.
8. Хабатюк О. Переговори у Досі “народили” слабкі кліматичні домовленості, 2012 р. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://www.ecoinvest.com.ua/uk/content/peregovori-u-dosi-narodili-slabki-klimatichni-domovlenosti>
9. Alexander Lisa V., Allen Simon K., Bindoff Nathaniel L. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. — 2013. — 30 p.
10. Bovensmann Heinrich. CarbonSat and the overall vision of a global GHG monitoring system // Future GHG Mission Challenges WS May 8th, 2014.
11. Buchwitz Michael. Satellite observations of greenhouse gases: Achievements for CO₂ obtained within the GHG-CCI project of ESAs Climate Change Initiative // Future GHG Mission Challenges WS May 8th, 2014.
12. CEOS Strategy for Carbon Observations from Space. The Committee on Earth Observation Satellites (CEOS) Response to the Group on Earth Observations (GEO). Carbon Strategy, Issued date: September 30, 2014.
13. Crisp David. The Future Vision of Space-Based GHG Monitoring // Future GHG Mission Challenges WS May 8th, 2014.
14. Doha amendment to the Kyoto protocol. Adoption of amendment to the protocol. Doha, 8 December 2012. — 41 ст. — [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://treaties.un.org/doc/Publication/CN/2012/CN.718.2012-Eng.pdf>.
15. Mason Paul J. Systematic observation requirements for satellite-based data products for climate. Supplemental details to the satellite-based component of the “Implementation Plan for the Global Observing System for Climate in Support of the UNFCCC (2010 Update)” / Paul J. Mason, Adrian Simmons, Stephan Bojinski, Anna Christina Mikalsen, Carolin Richter // Chairperson, Publications Board World Meteorological Organization (WMO)— Geneva 2, Switzerland-2011. — 138 p.
16. Status of the Doha Amendment. Interactive Map showing ratification of the Doha Amendment establishing the second commitment period of the Kyoto Protocol. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: http://unfccc.int/kyoto_protocol/doha_amendment/items/7362.php
17. UN Climate Summit 2014: <http://www.un.org/climatechange/summit/ru/2014/09/2014-climate-change-summary-chairs-summary-ru/>
18. 10th International Workshop on Greenhouse Gas Measurements from Space: <http://www.congrexprojects.com/2014-events/14C02/introduction>.
19. Wickland Diane E. CEOS Strategy for Carbon Observations from Space / Diane E. Wickland Stephen Plummer Masakatsu Nakajima and all // Printed in Japan by JAXA and I&A Corporation, September 30, 2014. — 215 p.

ХРОНІКА

Що пишуть про нас



У 12 номері Вісника Національної Академії наук України за 2014 рік опубліковано інтерв'ю з директором Центру академіком НАН України В. І. Ляльком "Космос – Україні".

Інтерв'ю присвячене популяризації дистанційного зондування Землі як комплексу методів, що стають потужним засобом як локальних досліджень окремих компонентів Землі, так і глобального вивчення планети в цілому. Методи ДЗЗ з космосу характеризуються високою оглядовістю, регулярністю знімань досліджуваних об'єктів, можливістю одночасно отримувати інформацію про великі території; переходити від дискретного набору значень певних показників в окремих пунктах до безперервної

картини просторового розподілу цих показників на всій території; одержувати оперативну й об'єктивну інформацію про важкодоступні райони.

У відповідях на запитання заступника редактора видання Олени Мележик Вадим Іванович окреслив перспективи розвитку космічних методів дистанційного зондування в Україні, активну інтеграцію науковців Центру в міжнародні проекти та суттєві результати, досягнуті у цьому співробітництві, охарактеризував основні напрями наукових досліджень та представив конкретні прикладні розробки співробітників Центру.

У жовтні цього року в КМДА відбулася нарада з питань відновлення співпраці з НАН України, на якій Академія запропонувала для потреб міста 230 розробок. Мерія Києва відібрала 11 наукових робіт, які профінансує з міського бюджету в 2015 р. Серед них є й розробка Центру аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України "Визначення розвитку зсувних процесів в м. Києві в режимі моніторингу (з використанням матеріалів дистанційних зйомок)." Докладніше про цю та інші розробки в інтересах міста Києва розповів безпосередній виконавець робіт завідувач відділу аерокосмічних досліджень у геоecології кандидат геологічних наук Володимир Євгенович Філіпович.

Співробітники відділу аерокосмічних досліджень у геоecології: В. Є. Філіпович, А. Г. Мичак, Л. П. Ліщенко, О. М. Терemenko.

Головними небезпечними природними явищами, що загрожують комфортному проживанню населення у м. Києві, є зсувні процеси, підйом рівня ґрунтових вод і теплове навантаження міста. Саме моніторинг зсувів найбільш і зацікавив київську адміністрацію.

Зсувні процеси на території Києва зумовлені багатоярусною геологічною будовою правобережних схилів Дніпра та врізаних у плато долин малих річок. У місті є понад 130 зсувонебезпечних ділянок загальною площею близько 400 га, які нині підтримує 33 км підпірних стінок. У рамках бюджетної тематики ми побудували картосхеми розміщення геодинамічних зон в узгодженні з ділянками розвитку небезпечних екзогенних геологічних процесів.

Мабуть, найбільшою природно-техногенною проблемою Києва є підйом рівня ґрунтових вод (РГВ). Методом ретрокартграфії, порівнюючи дані минулого століття з сучасним розташуванням об'єктів, ми показали, як із розвитком міста змінювався баланс ґрунтових вод, поступово підвищувалася зволоженість порід і розширювалися зони підтоплення.

Ще одним напрямом нашої діяльності є вивчення теплового навантаження урбанізованих територій, яке характеризується формуванням так званих "островів тепла", пов'язаних з перепадом приповерхневих температур між центром міста та його периферією.

За допомогою методів космічного ДЗЗ можна також ефективно вирішувати проблеми, пов'язані з енерговтратами, та контролювати стан теплових мереж і об'єктів інфраструктури міста. Це досить легкий і дешевий спосіб пошуку аварійних ділянок теплових мереж, які можна виявити ще до того, як відбудеться безпосередній прорив труби, а також виявляти ділянки забудови з підвищеними енерговтратами, що потребують заходів по енергозбереженню, впровадження яких зекономить багатомільйонні кошти.

О. Седлерова, за матеріалами інтерв'ю



ХРОНІКА

IAEG XII Конгрес Міжнародної Асоціації з Інженерної Геології (Турин 2014) “Інженерна Геологія для Суспільства і Території”

Ю. О. Маслов, к. т. н., чл.-к. Академії Будівництва України, директор “Благодійного Фонду Свята Софія”

15–19 вересня 2014 року в Турині (Італія) відбувся IAEG XII Конгрес Міжнародної Асоціації з Інженерної Геології на якому прозвучали доповіді, пов’язані з дистанційними дослідженнями Землі з космосу



Конференц-центр “Lingotto”

Огляд матеріалів конгресу

ПЕРЕДМОВА

- IAEG XII Конгрес присвячений динамічній ролі інженерної геології в нашому мінливому світі. Успіх Конгресу був забезпечений завдяки всім учасникам, що сприяли цій великій події.
- IAEG XII Конгрес святкує 50-річчя заснування IAEG: цей ювілей спрямований та те, щоб засвідчити фундаментальну наукову роль інженерної геології в останні 50 років.
- Участь у роботі Конгресу організована у відповідності до Програми “Благодійного Фонду Свята Софія” на 2014-2018 роки, погодженої Генеральним директором “Національного Заповідника Софія Київська” та Генеральним директором “Національного Києво-Печерського історико-культурного Заповідника” (<http://wiki.sophiakiyevska.org/uk/node/28>).

ВСТУП

- В найближчі роки вплив глобальних змін особливо відіб’ється при територіальному плануванні та розвитку інфраструктур, перш за все, в екстремальних кліматичних регіонах. Кліматичні зміни впливатимуть також на природні процеси, пов’язані з динамікою схилів, водотоків, змін прибережного та морського середовища: всі ці явища є предметом тематичних досліджень інженерної геології.
- Інженерна геологія відіграє важливу роль у визначенні людських реакцій на зміни у динамічному середовищі. Все більше і більше стає очевидною роль територіального планування з метою сталого використання наявних гео- та водних ресурсів і належного контролю природних небезпек (як то, зсувів, повеней, морських процесів і землетрусів).
- Геологія міських територій і прикладна геологія при здійсненні великих інженерних проєктів виходять далеко за межі технологічних застосувань, тому що вони аналізують еволюцію Суспільства та Інфраструктури в часі, включаючи і Збереження Культурної Спадщини.
- Дійсний розвиток людської діяльності повинен базуватися на етичній основі, тобто: Інженерна геологія з повагою ставиться до цього принципу, де наслідки включають стійке майбутнє і збереження навколишнього середовища.

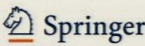
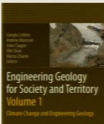
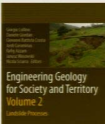
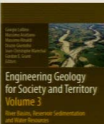
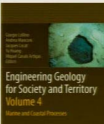
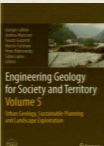
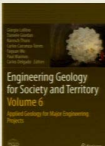
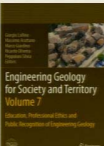
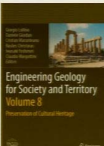
ПАТРОНАЖ

 United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization	Організація Об'єднаних Націй з питань Освіти, Науки і Культури	 ISPRA	Інститут з охорони навколишнього середовища та наукових досліджень, ISPRA (Італія)
	Уряд Рєгїону П'ємонт		Місто Турин, Організація громади міста
	Представництво Провінції Турин		

ЦЕРЕМОНІЯ ВІДКРИТТЯ КОНГРЕСУ



- Привітання голови Оргкомітету XII IAEГ Конгресу — Giorgio Lollino (<http://www.iaeg.info/iaeg2014/wp-content/uploads/presentation/15/loolino/Player.html>)

Torino 2014  50th Anniversary of IAEГ (1964-2014)   Lingotto Congress Centre	Congress Proceedings   Engineering Geology for Society and Territory Volume 1 Recent Advances and Engineering Geology  Engineering Geology for Society and Territory Volume 2 Recent Advances  Engineering Geology for Society and Territory Volume 3 Recent Advances, Research, Technology and Case Studies  Engineering Geology for Society and Territory Volume 4 Recent Advances and Research  Engineering Geology for Society and Territory Volume 5 Recent Advances, Research, Technology and Case Studies  Engineering Geology for Society and Territory Volume 6 Recent Advances, Research, Technology and Case Studies  Engineering Geology for Society and Territory Volume 7 Recent Advances, Research, Technology and Case Studies  Engineering Geology for Society and Territory Volume 8 Recent Advances, Research, Technology and Case Studies 1,300 full papers 8,640 pages Delivered to all participants in electronic form
---	---

- Наукові праці Конгресу видані всесвітньо відомим видавництвом "Springer", містять 1300 повних доповідей, їх обсяг сягає 8640 сторінок, вони зосереджені у 8 томах, підготовлені в електронному вигляді і надані всім учасникам Конгресу

НАУКОВА ПРОГРАМА

Понеділок 15 вересня 2014

Ключові доповіді

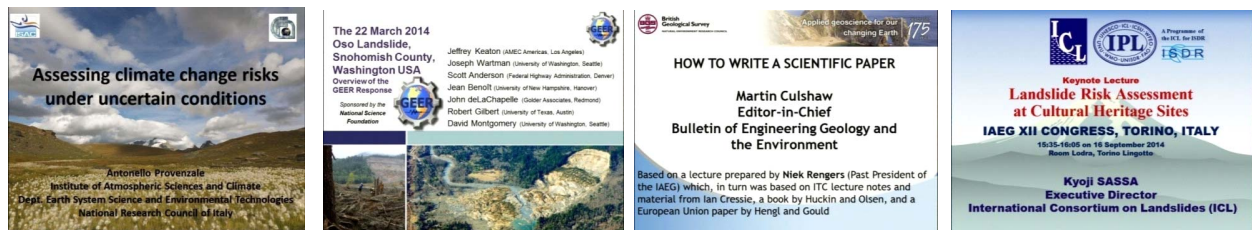


Титульні сторінки ключових доповідей є своєрідними візитними картками доповідачів

1. Проблеми в будівлях, що виникають при їх спорудженні на масивах нестабільних ґрунтів великих об'єктів. Carlos Delgado.
2. Міські зсуви: Виклик судовій експертизи інженерів - геологів. Scott Burns
3. Використання робочої класифікації зсувів, для оцінки небезпек на природному схилі. David Cruden
4. Спостереження, моделювання та перевірка поведінки схилу: чи є кращий спосіб в повній мірі використовувати одночасно досвід геологів і інженерів? Luciano Picarelli
5. Розуміння механізму масштабних зсувів. Runqiu Huang
6. Великомасштабне тематично-геологічне картування мегаполісів (на прикладі Москви) Victor I. Osipov.

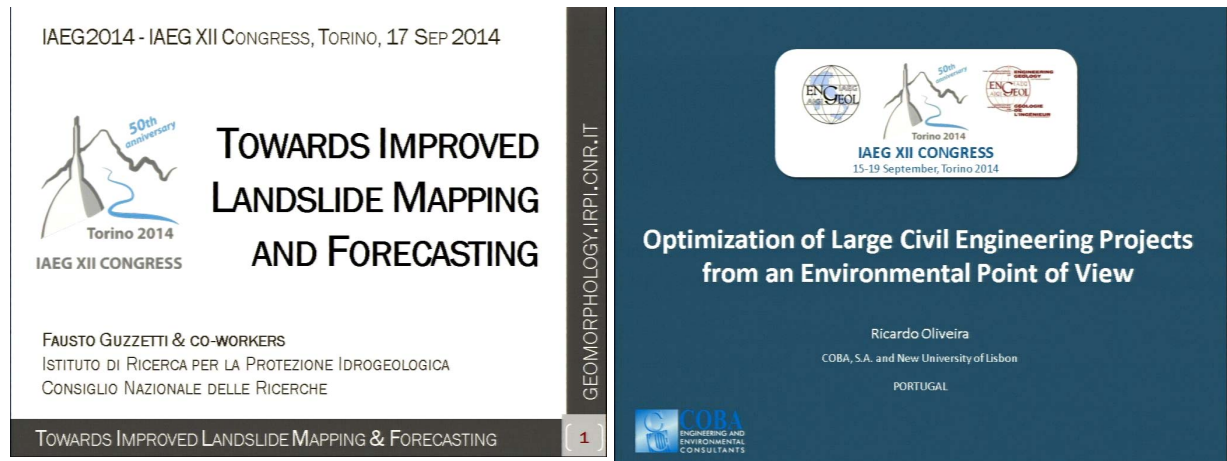
Вівторок, 16 вересня 2014

Ключові доповіді



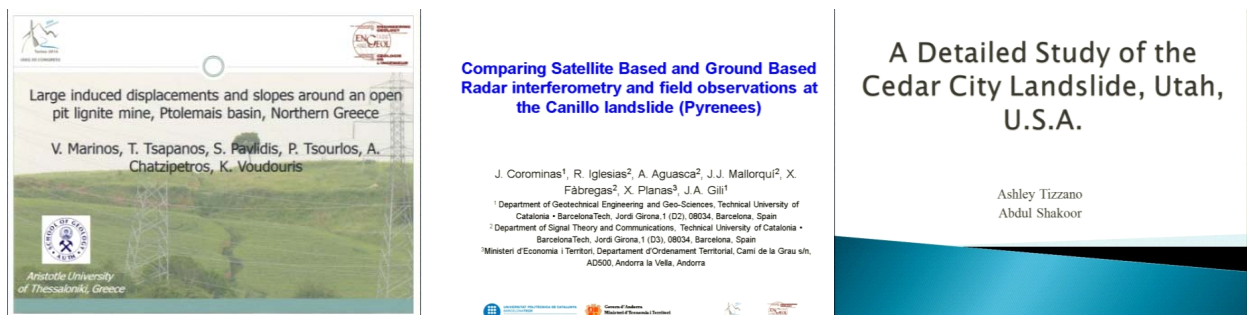
1. Оцінка ризиків зміни клімату в умовах невизначеності. Antonello Provenza.
2. Екстремальні події та інженерна геологія: процеси, ефекти і контрибуція для стійких громад. Jeff Keaton
3. Короткий курс: Як написати наукову статтю. Martin Culshaw
4. Лекція: Оцінка небезпеки зсувів на об'єктах культурної спадщини. Kyoji Sassa

Середа, 17 вересня 2014

Ключові доповіді

1. Підвищення ефективності картування і прогнозування зсувів.
Fausto Guzzetti
2. Оптимізація великих будівельних проєктів з екологічної точки зору.
Ricardo Oliveira

Четвер, 19 вересня 2014

Наукові сесії, приклади презентацій

- Великі індуковані зрушення і зсуви навколо шахти бурого вугілля, розробленої відкритим способом, Північна Греція. Vassilis Marinos
- Порівняння супутникового моніторингу і наземної радіолокаційної інтерферометрії з польовими спостереженнями на гірських зсувах (Пиреней). Jordi Corominas
- Детальне вивчення зсуву Cedar City, Штат Юта, США. Abdul Shakoor

НАУКОВО-КОНСУЛЬТАТИВНИЙ КОМІТЕТ

ЕКСПЕРТИ ПО ОСНОВНИХ ТЕМАХ ІНЖЕНЕРНОЇ ГЕОЛОГІЇ

Зміна клімату і інженерна геологія

- Vittorio CANUTO, NASA — USA
- John CLAGUE, Simon Fraser University — CANADA
- Rejean COUTURE, Natural Resources Canada — CANADA
- Margaret DARROW, University of Alaska Fairbanks — USA
- Kaare FLAATE, Norwegian Geotechnical Institute (NGI) — NORWAY
- Pierre POTHERAT, Centre d'études Techniques de Lyon — FRANCE
- Antonello PROVENZALE, CNR-ISAC, Torino — ITALY
- Dmitry SERGEEV, Institute of Environmental Geoscience RAS — RUSSIA
- Qingbai WU, Chinese Academy of Sciences — CHINA

Зсувні процеси

- Eduardo ALONSO, Universidad Polit?cnica de Catalunya — Barcelona — SPAIN
- Nicola CASAGLI, University of Firenze — ITALY
- Leonardo CASCINI, University of Salerno — ITALY
- Roger COJEAN, Ecole de Mines Paris — FRANCE
- Jordi COROMINAS, Universitat Polit?cnica de Catalunya — SPAIN
- Giovanni CROSTA, University of Milan — ITALY
- Francesco GUADAGNO, University of Sannio — ITALY
- Hideaki MARUI, Niigata University — JAPAN
- Kurosh THURO, Technical University of Munich — GERMANY
- Yueping YIN, China Geological Survey, Beijing — CHINA

МІСІЯ**Інженерна Геологія — Визначення**

“Інженерна геологія – це наука, присвячена дослідженню, вивченню та вирішенню інженерних та екологічних проблем, які можуть виникнути в результаті взаємодії між геологією і результатами діяльності людини, а також для прогнозування і розробки заходів із запобігання або ліквідацію небезпечних геологічних процесів”. (IAEG Статут, 1992)

Інженерна геологія охоплює:

- визначення геоморфології, структури, стратиграфії, літології і умови підземних вод геологічних формацій;
- характеристики мінералогічних, фізико – геомеханічних, хімічних і гідравлічних властивостей всіх земних матеріалів, використовуваних в будівництві, відновлення ресурсів і зміни в навколишньому середовищі;
- оцінку механічної та гідрологічної поведінки ґрунту і гірських порід;
- прогнозування змін відносно зазначених вище властивостей з часом;
- визначення параметрів, які будуть розглянуті при аналізі стійкості земних мас під час проведення інженерних робіт;
- покращення та підтримання екологічного стану та властивостей місцевості.

ЗАГАЛЬНИЙ ВИСНОВОК

- Праці Конгресу можуть бути використані для організації в Україні
- Міжнародної наукової школи-семінару
- Стратегія Зниження Ризиків від Стихійних Лих на Об’єктах Всесвітньої Спадщини.

(За матеріалами XII Міжнародного Конгресу у IAEG: Інженерна геологія для суспільства і території).

Проект узгоджується з рекомендаціями ЮНЕСКО, WHC-07 / 31.COM / 7.2, Пункт 7.2: Питання, пов’язані із станом збереженості Об’єктів Всесвітньої Спадщини

ОСНОВНІ ТЕМИ

- Зміна клімату та інженерна геологія
- Зсувні процеси
- Річкові басейни, замулення водосховищ і водних ресурсів
- Морські і прибережні процеси
- Урбанізація та геологія, планування сталого розвитку та експлуатація ландшафтів
- Прикладна геологія для великих інженерних проектів
- Освіта, професійна етика та суспільне визнання інженерної геології
- Збереження культурної спадщини

Місце зустрічі: Національний Заповідник “Софія Київська”

ХРОНИКА

IAEG XII Конгресс Международной Ассоциации по инженерной Геологии (Турин 2014) “Инженерная Геология для Общества и Территории”

Ю. А. Маслов, к. т. н., чл.-к. Академии Строительства Украины, директор “Благотворительного фонда Святая София”

15–19 сентября 2014 года в Турине (Италия) состоялся IAEG XII Конгресс Международной Ассоциации по Инженерной Геологии на котором прозвучали доклады, связанные с дистанционными исследованиями Земли из космоса



Конференц-Центр “Lingotto”

ПРЕДИСЛОВИЕ

- IAEG XII Конгресс посвящен динамичной роли инженерной геологии в нашем меняющемся мире. Успех Конгресса был обеспечен благодаря всем участникам, которые содействовали этому знаменательному событию.
- IAEG XII Конгресс празднует 50-летие основания IAEG: этот юбилей направлен и то, чтоб засвидетельствовать фундаментальную научную роль инженерной геологии в предшествующие 50 лет.
- Участие в работе Конгресса организовано в соответствии с Программой “Благотворительного Фонда Святая София” на 2014–2018 годы, согласованной Генеральным директором “Национального Заповедника София Киевская” и Генеральным директором “Национального Киево-Печерского историко-культурного Заповедника” (<http://wiki.sophiakievskia.org/uk/node/28>)

ВСТУПЛЕНИЕ

- В ближайшие годы влияние глобальных изменений особенно отразится при территориальном планировании и развитии инфраструктур, прежде всего, в экстремальных климатических регионах. Климатические изменения будут воздействовать также на природные процессы, связанные с динамикой склонов, водотоков, изменений прибрежной и морской среды: все эти явления являются предметом тематических исследований инженерной геологии.
- Инженерная геология играет важную роль в определении человеческих реакций на изменения в динамичной среде. Все больше и больше становится очевидной роль территориального планирования, нацеленного на жизнеспособное использование имеющихся гео- и водных ресурсов и надлежащего контроля природных опасностей (как то, оползней, наводнений, морских процессов и землетрясений).
- Геология городских территорий и прикладная геология при осуществлении больших инженерных проектов выходят далеко за пределы технологических применений, потому что они анализируют эволюцию Общества и Инфраструктуры во времени, включая и Сохранение Культурного Наследия.
- Действительное развитие человеческой деятельности должно базироваться на этической основе, то есть: Инженерная геология с уважением относится к такому принципу, при котором последствия деятельности предусматривают жизнеспособное будущее и сохранение окружающей среды.

ПАТРОНАЖ

 United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization	Организация Объединенных Наций по вопросам Образования, Науки и Культуры	 ISPRA	Институт охраны окружающей среды и научных исследова- ний, ISPRA (Италия)
	Правительство Региона Пьемонт		Город Турин, Организация общины города
	Представительство Провинции Турин		

ЦЕРЕМОНИЯ ОТКРЫТИЯ КОНГРЕССА



Приветствие председателя Оргкомитета XII IAEG Конгресса — Giorgio Lollino

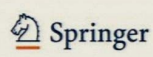
Torino 2014

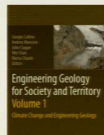
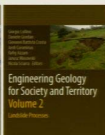
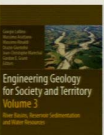
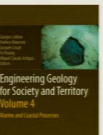
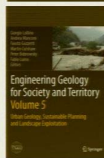
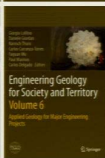
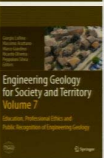
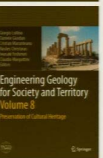


50th Anniversary of IAEG (1964-2014)




Lingotto Congress Centre

Congress Proceedings 

1,300 full papers

8,640 pages

**Delivered to all
participants in
electronic form**

Научные труды Конгресса изданы всемирно известным издательством “Springer”, они содержат 1300 полных докладов, их объем достигает 8 640 страниц, они сосредоточены в 8 томах, подготовлены в электронном виде и выданы всем участникам Конгресса

НАУЧНАЯ ПРОГРАММА

Понедельник, 15 Сентября 2014

Ключевые доклады

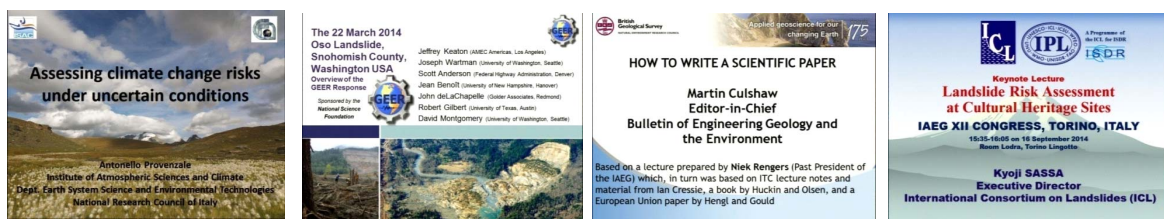


Титульные страницы презентаций ключевых докладов — своеобразные визитные карточки докладчиков

1. Проблемы в сооружениях, которые возникают при их возведении на массивах нестабильных грунтов больших объемов. Carlos Delgado.
2. Городские оползни: вызов для судебно-медицинских инженеров — геологов. Scott Burns
3. Использование рабочей классификации оползней для оценки опасностей на естественном склоне. David Cruden
4. Наблюдение, моделирование и проверка поведения оползня: есть ли лучший способ в полной мере использовать одновременно опыт геологов и инженеров? Luciano Picarelli
5. Понимание механизма масштабных оползней. Runqiu Huang
6. Крупномасштабное тематическое-геологическое картирование мегаполисов (на примере Москвы) Victor I. Osipov.

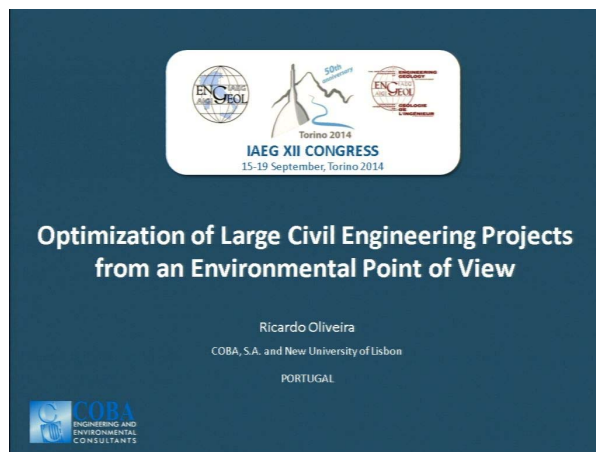
Вторник, 16 Сентября 2014

Ключевые доклады



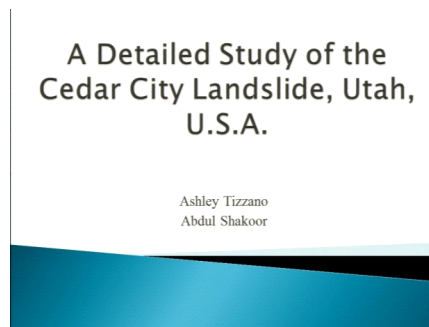
1. Оценка рисков изменения климата в условиях неопределенности. Antonello Provenzale.
2. Экстремальные события и инженерная геология: процессы, эффекты и контрибуция для устойчивых общин. Jeff Keaton.
3. Короткий курс: Как написать научную статью. Martin Culshaw.
4. Лекция: Оценка опасности оползней на объектах культурного наследия. Kyoji Sassa

Среда, 17 Сентября, 2014

Ключевые презентации

- Повышение эффективности картографии оползней и их прогнозирования. Fausto Guzzetti
- Оптимизация крупных строительных проектов с точки зрения экологической безопасности. Ricardo Olivera

Четверг, 18 Сентября 2014

Научные Сессии, Примеры Презентаций

- Крупные индуцированные сдвиги и смещения вокруг шахты бурого угля, разработанной открытым способом. Северная Греция. Vassilis Marinos
- Сравнение спутникового мониторинга и наземной радиолокационной интерферометрии с полевыми наблюдениями на горных оползнях (Пиренеи). Jordi Corominas
- Детальное исследование оползня Cedar City, Щтат Юта, США. Abdul Shakoor

НАУЧНО-КОНСУЛЬТАТИВНЫЙ КОМИТЕТ**ЭКСПЕРТЫ ПО ОСНОВНЫМ ТЕМАМ ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ****Изменение климата и инженерная геология**

- Vittorio CANUTO, NASA — USA
- John CLAGUE, Simon Fraser University — CANADA
- Rejean COUTURE, Natural Resources Canada — CANADA
- Margaret DARROW, University of Alaska Fairbanks — USA
- Kaare FLAATE, Norwegian Geotechnical Institute (NGI) — NORWAY
- Pierre POTHERAT, Centre d'etudes Techniques de Lyon — FRANCE
- Antonello PROVENZALE, CNR-ISAC, Torino — ITALY
- Dmitry SERGEEV, Institute of Environmental Geoscience RAS — RUSSIA
- Qingbai WU, Chinese Academy of Sciences — CHINA

Оползневые процессы

- Eduardo ALONSO, Universidad Polit?cnica de Cataluya–Barcelona — SPAIN
- Nicola CASAGLI, University of Firenze — ITALY
- Leonardo CASCINI, University of Salerno — ITALY
- Roger COJEAN, Ecole de Mines Paris — FRANCE
- Jordi COROMINAS, Universitat Polit?cnica de Catalunya — SPAIN
- Giovanni CROSTA, University of Milan — ITALY
- Francesco GUADAGNO, University of Sannio — ITALY
- Hideaki MARUI, Niigata University — JAPAN
- Kurosh THURO, Technical University of Munich — GERMANY
- Yueping YIN, China Geological Survey, Beijing — CHINA

МИССИЯ

Инженерная Геология — Определение

“Инженерная геология — это наука, посвященная исследованию, изучению и решению инженерных и экологических проблем, которые могут возникнуть в результате взаимодействия между геологией и результатами деятельности человека, а также для прогнозирования и разработки мероприятий по предотвращению или ликвидации опасных геологических процессов” (IAEG Устав, 1992).

Инженерная геология охватывает:

- определение геоморфологии, структуры, стратиграфии, литологии и условий подземных вод геологических формаций;
- характеристику минералогических, физико — геомеханических, химических и гидравлических свойств всех земных материалов, используемых в строительстве, восстановления ресурсов и изменений в окружающей среде;
- оценку механического и гидрологического поведения грунта и горных пород;
- прогнозирование изменений относительно указанных выше свойств со временем;
- определение параметров, которые будут рассмотрены при анализе устойчивости земных масс при проведении инженерных работ;
- улучшение и поддержание экологического состояния и свойств местности.

ОБЩИЙ ВЫВОД

Труды Конгресса могут быть использованы для организации в Украине Международной научной школы-семинара

Стратегия Снижение Рисков от Стихийных Бедствий на Объектах Всемирного Наследия

(По материалам XII Международного Конгресса в IAEG: Инженерная геология для общества и территории)

Проект согласуется с рекомендациями ЮНЕСКО, WHC-07 / 31.COM / 7.2, Пункт 7.2: Вопросы, связанные с состоянием сохранности Объектов Всемирного Наследия.

ОСНОВНЫЕ ТЕМЫ

- Изменение климата и инженерная геология
- Оползневые процессы
- Речные бассейны, заиливание водохранилищ и водных ресурсов
- Морские и прибрежные процессы
- Урбанизация и геология, планирование жизнеспособного устойчивого развития и эксплуатация данд-шафтов
- Прикладная геология для больших инженерных проектов
- Просвещение, профессиональная этика и общественное признание инженерной геологии
- Сохранение культурного наследия

Место встречи: Национальный заповедник “София Киевская”

CHRONICLE

IAEG XII Congress Torino 2014 Engineering Geology for Society and Territory Overview of Congress' materials (September 15–19, 2014)

Dr. Yuriy Maslov, Corresponding Member of Construction Academy of Ukraine, Director of “Charitable Fund St. Sophia”



Lingotto Conference Centre, Torino

PREFACE

- The IAEG XII Congress devoted of the dynamic role of Engineering Geology in our changing world. The success of the Congress was provided thanks to all participants contributing to this great event.
- The 2014 IAEG Congress celebrates 50 years from IAEG foundation: it aims to testify the fundamental scientific role of Engineering Geology in the last 50 years, through the contributions of successful, well-known researchers.
- An important goal of the XII International IAEG Congress is to promote and increase the relationships between scientists and engineering geology professional operators (Owners, Design Firms and Contractors).
- The cooperation between research and practice will lead to a development of the Society through the creation of new patents, licenses, spin offs and joined and sponsored researches.
- The Congress offered an extraordinary opportunity for scientists, companies and agencies to meet and improve together the current state of Engineering Geology. For this purpose keynote lectures have been delivered to both academic representatives and professional operators.
- Congress Organizing Committee want them to be able to overcome future difficulties in geo-environmental management and habitat protection.

INTRODUCTION

- In the next few years, major effects over territorial planning and infrastructures will be due to the global change particularly evident in extreme climate regions. Climate changes also affects natural processes related to slope dynamics, water courses, coastal and marine environments: all these phenomena are case studies for Engineering Geology.
- Engineering Geology plays a major role in the definition of human responses to the changes of a dynamic environment. More and more obvious is the role of territorial planning for a sustainable use of available geo and water resources and a proper management of natural hazards (as landslides, floods, marine processes and earthquakes).
- Urban Geology and Applied Geology for Major Engineering Projects are reaching far beyond technological applications, because they analyse the evolution over time of the Society and infrastructures, including also the Preservation of Cultural Heritage.
- Indeed, human activities have to be developed on a ethical base: Engineering Geology respects this principle, where implications include sustainable future and environmental conservation.

PATRONAGES



OPENING CEREMONY



Greeting of Chairs of the XII IAEG Congress – Giorgio Lollino

Torino 2014

50th Anniversary of IAEG (1964-2014)

Lingotto

Congress Proceedings

Springer

1,300 full papers

8,640 pages

Delivered to all participants in electronic form

OPENING CEREMONY

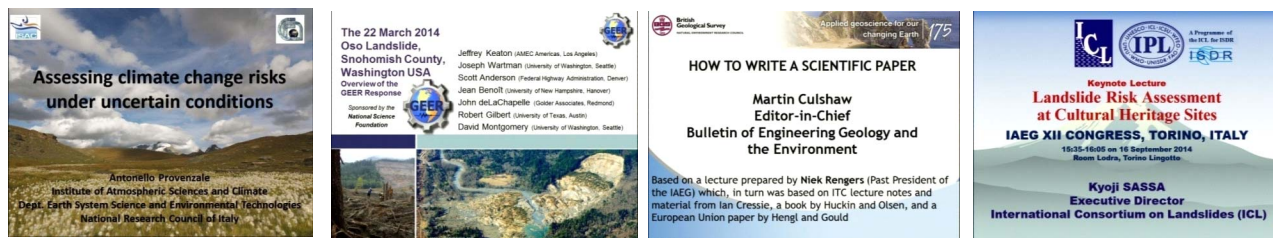
Keynotes



1. Problems in buildings and public works derived from soils with unsteady structure and soils with large volume instability. Carlos Delgado.
2. Urban Landslides: A Challenge for forensic engineering geologists. Scott Burns
3. Using the Working Classification of Landslides to assess the danger from a natural slope. David Cruden
4. Observing, modeling and checking slope behaviour: is there a better way to fully exploit the expertise of geologists and engineers at the same time? Luciano Picarelli
5. Understanding the mechanism of large-scale landslides. Runqiu Huang
6. Large-Scale Thematic Geological Mapping of Megacities (by the example of Moscow). Victor I. Osipov.

Tuesday, 16 September 2014

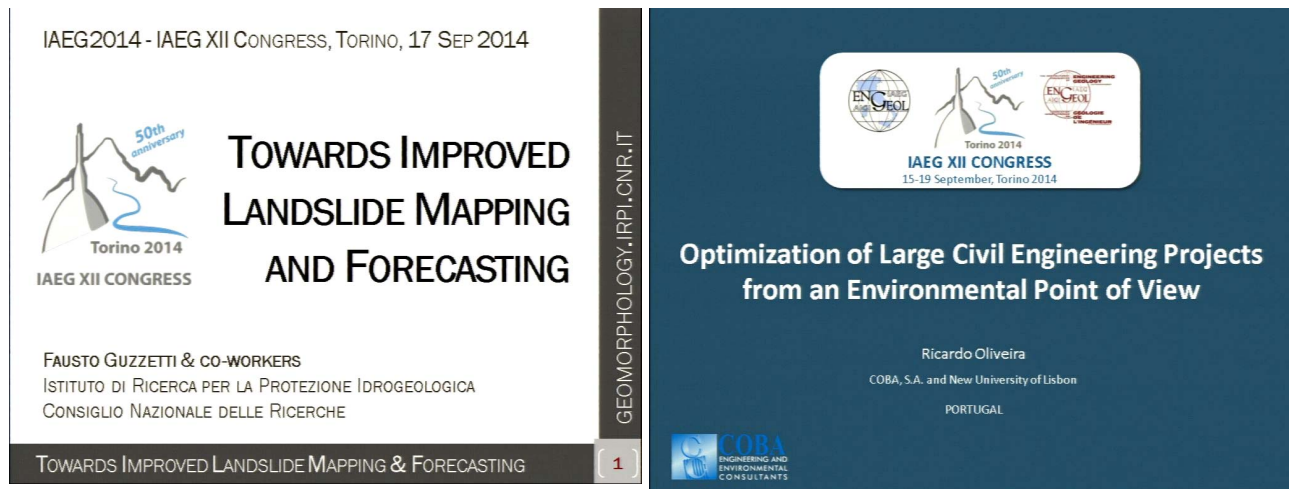
Keynotes



- Antonello Provenzale –Assessing climate change risks under uncertain conditions
- Short Jeff Keaton — Extreme Events and Engineering Geology: Processes, Effects, and Contributions for Resilient Communities
- Short Course: Martin Culshaw — How to write a scientific paper
- Lecture: Kyoji Sassa Landslide Risk Assessment at Cultural Heritage Sites

Wednesday, 17 September 2014

Keynotes



- Fausto Guzzetti — Towards improved landslide mapping and forecasting
- Ricardo Oliveira — Optimization of large civil engineering projects from an environmental point of view

Thursday, 19 September 2014

Scientific Sessions, Examples of Presentations



- Vassilis Marinos — Large induced displacements and slides around an open pit lignite mine, Ptolemais basin, northern Greece.
- Jordi Corominas — Comparing Satellite Based and Ground Based Radar interferometry and field observations at the Canillo landslide (Pyrenees)
- Abdul Shakoor — A detailed study of the Cedar City Landslide, Utah, U.S.A.

SCIENTIFIC ADVISORY COMMITTEE

ENGINEERING GEOLOGY TOPIC EXPERTS

Climate change and engineering geology

- Vittorio CANUTO, NASA — USA
- John CLAGUE, Simon Fraser University — CANADA
- Rejean COUTURE, Natural Resources Canada — CANADA
- Margaret DARROW, University of Alaska Fairbanks — USA
- Kaare FLAATE, Norwegian Geotechnical Institute (NGI) — NORWAY
- Pierre POTHERAT, Centre d'Etudes Techniques de Lyon — FRANCE
- Antonello PROVENZALE, CNR-ISAC, Torino — ITALY

- Dmitry SERGEEV, Institute of Environmental Geoscience RAS — RUSSIA
- Qingbai WU, Chinese Academy of Sciences — CHINA

Landslide processes

- Eduardo ALONSO, Universidad Polit?cnica de Cataluya — Barcelona — SPAIN
- Nicola CASAGLI, University of Firenze — ITALY
- Leonardo CASCINI, University of Salerno — ITALY
- Roger COJEAN, Ecole de Mines Paris — FRANCE
- Jordi COROMINAS, Universitat Polit?cnica de Catalunya — SPAIN
- Giovanni CROSTA, University of Milan — ITALY
- Francesco GUADAGNO, University of Sannio — ITALY
- Hideaki MARUI, Niigata University — JAPAN
- Kurosh THURO, Technical University of Munich — GERMANY
- Yueping YIN, China Geological Survey, Beijing — CHINA

MISSION

Engineering Geology - Definition

- * “Engineering Geology is the science devoted to the investigation, study and solution of the engineering and environmental problems which may arise as the result of the interaction between geology and the works and activities of man as well as to the prediction and of the development of measures for prevention or remediation of geological hazards.” (IAEG statutes, 1992).

Engineering Geology embraces :

- the definition of the geomorphology, structure, stratigraphy, lithology and groundwater conditions of geological formations ;
- the characteristics of the mineralogical, physico - geomechanical, chemical and hydraulic properties of all earth materials involved in construction, resource recovery and environmental change ;
- the assessment of the mechanical and hydrologic behaviour of soil and rock masses ;
- the prediction of changes to the above properties with time ;
- the determination of the parameters to be considered in the stability analysis of engineering works and of earth masses ; and the improvement and maintenance of the environmental condition and of the properties of the terrain.

CONCLUSION

- Proceedings of the Congress can be used for the organization in Ukraine permanent training seminar - subject: Strategy for Reducing Risks from Disasters at World Heritage properties. (On materials of the XII International Congress IAEG: Engineering geology for Society and Territory).
- The project complies with the recommendations of UNESCO, WHC-07/31.COM/7.2, Item 7.2 : Issues related to the state of conservation of World Heritage properties.

MAIN TOPICS

- Climate change and engineering geology
- Landslide processes
- River basins, reservoir sedimentation and water resources
- Marine and coastal processes
- Urban geology, sustainable planning and landscape exploitation
- Applied geology for major engineering projects
- Education, professional ethics and public recognition of engineering geology
- Preservation of cultural heritage

Venue : National Conservation Area “Saint Sophia of Kyiv”

ПРАВИЛА ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ ДЛЯ АВТОРІВ

Дані правила складено на основі “Вимог ВАК до наукової статті, опублікованої у фаховому виданні” (<http://lib.exdat.com/docs/740/index-3150.html>), а також “Положення про електронні наукові фахові видання” (<http://vak.org.ua/fv/>).

Журнал є електронним науковим фаховим виданням, яке розповсюджується в мережі Інтернет у вільному доступі.

Журнал висвітлює нові дані науки і практики, теоретичні розробки, наукові узагальнення, результати експериментальних досліджень, дискусійні питання, нові концепції, гіпотези тощо.

Журнал має такі розділи:

- наукові основи дистанційного дослідження Землі;
- методи і засоби оброблення та інтерпретації аерокосмічної інформації;
- використання інформації дистанційного дослідження Землі.

Видання орієнтовано на широке коло фахівців, практиків, науковців, викладачів, інженерів, аспірантів, студентів.

Редакція розглядає представлені матеріали з дотриманням авторських прав і етичних норм наукової публікації (Додаток 1).

Представлення рукописів

Рукописи надсилають до редакції в електронному вигляді за адресою: o.kudriashov@ujrs.org.ua або ж на альтернативних електронних носіях за адресою: Україна, 01601, м. Київ, МСП, вул. Олеся Гончара, 55-Б, редакція журналу “Український журнал дистанційного зондування Землі”. Якщо об’єм графічних матеріалів перевищуватиме ліміт електронної пошти, їх надсилають окремими листами з позначкою “Додаток до листа (назва листа)”.

До рукопису додають акт експертизи установи, де виконана робота, відомості про авторів (ім’я, по-батькові, прізвище, посада, науковий ступень та вчене звання, повна офіційна назва установи, адре-

са, телефон та електронна адреса відповідального автора), а також “Авторську згоду” за підписом відповідального автора (Додаток 2) у форматі JPEG/PDF або паперові примірники.

Загальні вимоги

Стаття може бути написана українською, російською або англійською мовами і повинна мати резюме (abstract), а також ключові слова (keywords). Анотація повинна висвітлювати основні результати досліджень, а не перелік питань розглянутих у статті. Рекомендується розбити матеріал статті на розділи (вступ, висновки і т. ін.). У кінці рукопису розміщують список використаних джерел, а після нього — назву статті, ініціали та прізвища авторів, резюме а також ключові слова двома мовами (російською та англійською, українською та англійською, або ж українською та російською відповідно до мови, якою написана стаття).

Оформлення рукопису

Формат документу — Word-97–2003. Гарнітура — Times New Roman. Кегль — 10–12 пунктів. Звичайне накреслення. Розмір сторінки — А4.

Текст форматують *без переносів, абзацних відступів та інтервалів до та після рядка*. Виключка (вирівнювання) — по ширині, або по лівому краю.

Формат графічних додатків — TIFF, розрізнення — не менше 300 dpi/inch у масштабі сторінки, кольорова модель CMYK.

Структура рукопису:

- УДК
- Назва статті (звичайним накресленням)
- Ініціали та прізвище автора (авторів). Ініціали відділяють проміжками (пробілами)
- Повна офіційна назва установи (установ), де виконано роботу, місто, країна

(якщо автори працюють у різних установах перед назвою установи і після прізвища ставлять однакову цифру (верхній індекс))

- Електронна адреса та/або тел./факс відповідального автора. Перед ним та після прізвища ставлять астериск (зірочку)
- Резюме мовою статті
- Ключові слова мовою статті
- © та рік
- Текст статті
- Список літератури
- Назва статті, ініціали та прізвища авторів, резюме (abstract), а також ключові слова (keywords) двома мовами окрім мови статті

Текст

Пробіли (проміжки). Слова, ініціали, скорочення, знаки математичних операцій, тире (кг, x, c., p., i т. ін., мкм, Д. І. Менделєєв тощо) відділяють пробілами (але лише одним!). За правилами правопису проміжок обов'язовий після будь-якої крапки, адже крапка — ознака нового слова. Цією нормою де-факто часто нехтують між ініціалами, а між “і т. д...” і т. п.” — практично завжди. За нормами правопису не відділяють пробілами тире між цифрами (наприклад: 25–40 м), а також дефіс. Не ставлять пробіли усередині дужок, лапок, перед комою, крапкою, двокрапкою.

Не слід робити абзацний відступ за допомогою пробілів або табулятора! Не набирайте текст увімкнувши Caps Lock. Не робіть розрядку тексту за допомогою пробілів.

Прізвища. Нагадуємо, що в текстах написаних українською мовою чоловічі українські та інші слов'янські прізвища відмінюються як відповідні іменники, а жіночі на приголосний та **о** — ні. Порівняйте: ...у роботі *Марії Сенник* — *Василя Сенника*, ... дякуючи *Надії Балій* — *Михайлові Балієві*, ...за *Ніною Байко* — за *Андрієм Байком*. Отже, роблячи посилання на автора, який Вам відомий лише за ініціалами і прізвище якого закінчується на приголосний або на **о**, Вам доведеться дізнатися про його стать.

Таблиці. Формат таблиць — MS Word. Треба всіляко прагнути аби таблиці мали вертикальну орієнтацію. Розмір кегля в таблицях — 9 пунктів. Заголовки рядків і стовпців повинні бути якомога стислими, скорочень (окрім загальноприйнятих) треба уникати. Довгі і складні заголовки рекомендується оформити у зносках до таблиці. Усі таблиці повинні мати номери (якщо їх більше однієї) і заголовки (назви). Посилання на них у тексті обов'язкове. *Не вмонтовуйте у текст таблиці у вигляді зображень!*

Формули треба набирати у редакторі

Microsoft Equation і не вставляти їх у текст у вигляді таблиць або зображень. Будь ласка, не використовуйте програму MathType. Формулам треба присвоювати наскрізну нумерацію.

Ілюстрації

Усі рисунки потрібно пронумерувати (якщо їх більше одного). Посилання на них у тексті обов'язкове.

Ілюстрації (знімки, схеми, діаграми) вмонтовують у документ Word і *представляють окремими файлами у форматі TIFF* з розрізненням не менше 300 dpi/inch у масштабі публікації (формат публікації — A4). Рисунки повинні мати умовні знаки — “прямокутнички” з цифрою поряд.

Назву рисунка та пояснення умовних позначень треба винести до тексту.

Підписи під рисунками повинні виглядати так:

Рис. 1. Назва рисунка (якщо у рукописі лише один рисунок, слово “Рис.” не пишуть)

1 — пояснення умовного знака під номером 1; 2 — пояснення умовного знака під номером 2; 3 — пояснення умовного знака під номером 3 і так далі

Графіки мають бути виконані з використанням графічних редакторів, які щонайменше відповідають рівню MS Excel. Не представляйте виконані від руки та відскановані матеріали.

Література

Посилання на літературне джерело у тексті подають у квадратних дужках. У дужках указують порядковий номер роботи що цитується у списку літературних джерел. Список літератури роблять за алфавітом.

За алфавітним порядком спочатку ідуть джерела українською та російською мовами, а після — згідно латинської абетки — англійські — у порядку латинського алфавіту.

Бібліографічний опис документів складають згідно стандарту бібліографічного опису документів ДСТУ ГОСТ 7.1:2006.

При скороченні слів користуються ДСТУ 3582-97 “Скорочення слів в українській мові у бібліографічному описі” та ГОСТ 7.12.93 “Библиографическая запись. Сокращения слов на русском языке. Общие требования и правила”. При створенні опису іноземною мовою дотримуються також вимог ГОСТ 7.11-78 “Сокращение слов и словосочетаний на иностранных языках в библиографическом описании произведений печати”. Бібліографічні описи складають de visu, безпосередньо за оригіналами видань.

Роботи одного і того ж автора наводять у хронологічному порядку. Роботи одного і того ж самого автора у разі наявності співавторів розміщують у алфавітному порядку з урахуванням прізвища другого автора.

ДОДАТОК 1

Авторські права і етичні норми наукової публікації

Передаючи матеріали до редакції, автор гарантує наявність у нього авторських прав на рукопис і дає згоду на публікацію тексту і метаданих статті (включаючи прізвища та ініціали авторів, місця їх роботи і e-mail автора для кореспонденції) в журналі, що має на увазі поширення в друкованому варіанті, розміщення електронних копій в мережі Інтернет на сайтах журналу і спеціалізованих наукових баз даних (у тому числі наукометричних), переклад іноземними мовами. При цьому за автором зберігається право використання опублікованого в журналі матеріалу в особистих (наукових, викладацьких) цілях. Але відтворення опублікованої інформації третіми особами в будь-якому вигляді, включаючи переклад іншими мовами, можливе лише з дозволу редакції з обов'язковим зазначенням повного бібліографічного посилання.

При поданні рукопису до редакції автори гарантують відсутність у них раніше опублікованих або поданих на розгляд в інші наукові видання матеріалів з аналогічним змістом. В іншому випадку автори повинні надати редактору інформацію щодо попередньої публікації даних, що містяться в статті.

ДОДАТОК 2

Авторська згода

(документ має бути підписаний відповідальним автором публікації)

Автори, направляючи рукопис у редакцію “Українського журналу дистанційного зондування Землі”, погоджуються з тим, що редакції передаються права на захист и використання рукопису (переданого до редакції журналу матеріалу, в т. ч. такі охоронювані об'єкти авторського права як фотографії автора, рисунки, схеми, таблиці тощо), в тому числі на відтворення у пресі та в мережі Інтернет; на поширення; на переклад рукопису на будь-які мови; експорту та імпорту примірників журналу зі статтею авторів з метою розповсюдження, на доведення до загального відома. Зазначені вище права автори передають редакції без обмеження терміну їх дії і на території всіх країн світу без обмеження, в т. ч. на території України.

Автори гарантують наявність у них виняткових прав на використання переданого редакції матеріалу. Редакція не несе відповідальності перед третіми особами за порушення даних авторами гарантій. За Авторами зберігається право використання їх опублікованого матеріалу, його фрагментів і частин в особистих, у тому числі наукових і освітніх цілях. Права на рукопис вважаються переданими Авторами редакції з моменту підписання до друку випуску журналу, в якому він публікується. Передрук матеріалів, опублікованих у журналі, іншими фізичними та юридичними особами можливий тільки зі згоди редакції, з обов'язковим зазначенням випуску журналу, в якому було опубліковано матеріал.

Я (відповідальний автор) підтверджую, що я достатньою мірою брав участь у розробці концепції/дизайну цієї роботи, аналізі даних, а також написанні рукопису для прийняття відповідальності за це. Я ознайомлений з остаточним варіантом рукопису і затвердив його для публікації. Жодного рукопису з аналогічним змістом не було опубліковано під моїм авторством і не розглядається для публікації в інших виданнях. Я також ознайомлений з вищенаведеними умовами опублікування рукопису та приймаю їх.

Дата, підпис

ПРАВИЛА И РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ АВТОРОВ

Данные Правила составлены на основе “Требований ВАК Украины к научной статье, опубликованной в научном издании” (<http://lib.exdat.com/docs/740/index-3150.html>), а также “Положения об электронных научных изданиях” (<http://vak.org.ua/fv/>).

Журнал является электронным научным изданием, которое распространяется в сети Интернет в свободном доступе.

В журнале публикуются новые данные науки и практики, теоретические разработки, научные обобщения, результаты экспериментальных исследований, дискуссионные вопросы, новые концепции, гипотезы и т. п.

Журнал имеет следующие разделы:

- научные основы дистанционного исследования Земли;
- методы и средства обработки и интерпретации аэрокосмической информации;
- использование информации дистанционного исследования Земли.

Журнал рассчитан на широкий круг специалистов, практиков, ученых, преподавателей, инженеров, аспирантов, студентов.

Редакция рассматривает материалы публикаций с соблюдением авторских прав и этических норм научной публикации (Приложение 1).

Представление рукописей

Рукописи представляют в редакцию в электронном виде по адресу: o.kudriashov@ujrs.org.ua, или на альтернативных электронных носителях по адресу: Украина, 01601, г. Киев, МСП, ул. Олеся Гончара, 55-Б, редакция журнала “Украинский журнал дистанционного зондирования Земли”.

К рукописи прилагается акт экспертизы учреждения, где выполнена работа, сведения об авторах (учреждения, должности, научные степени и ученые звания), а также “Авторское соглашение” за подписью ответственного автора (Приложение 2)

в формате JPEG/PDF. В случае принятия статьи на почтовый адрес редакции высылаются отпечатанные экземпляры рукописи и сопроводительных документов.

Общие требования

Статья может быть написана на украинском, русском или английском языках и должна иметь резюме (abstract), а также ключевые слова. Аннотация должна содержать основные результаты исследований, а не перечень вопросов, рассмотренных в статье. Рекомендуется разбить материал статьи на разделы (введение, выводы и т. д.). В конце рукописи размещают список использованной литературы, а после него — название статьи, инициалы и фамилии авторов, резюме и ключевые слова на двух языках (русском и английском, украинском и английском, или на русском и украинском соответственно языку, на котором написана статья).

Оформление рукописи

Формат документа — Word-97–2003. Формат графических приложений — TIFF, разрешение — 300 dpi/inch, цветовая модель CMYK.

Размер страницы — А4. Текст форматируют без переносов, абзацных отступов, выступов и интервалов до и после строки.

Структура рукописи

- УДК
 - Название статьи (шрифт обычный т. е. строчные буквы)
 - Инициалы и фамилия автора (авторов). Инициалы отделяют пробелами
 - Официальное название учреждения (учреждений) где выполнена работа, город, страна
- Если авторы работают в разных учреждениях пе-

ред названием учреждения и после фамилии ставят одинаковую цифру (верхний индекс)

- Электронный адрес или тел./факс ответственного автора. Перед ним и после фамилии ставят астериск (звездочку)

- Резюме на языке статьи
- Ключевые слова на языке статьи
- © инициалы и фамилии авторов. Год
- Текст статьи
- Список литературы
- Название статьи, инициалы и фамилии авторов, резюме (abstract), а также ключевые слова на двух языках (русском и английском; русском и украинском, украинском и английском соответственно).

Текст

Пробелы. Слова, инициалы, сокращения, знаки математических операций, тире (кг, г, с., р., и т. д., мкм, Д. И. Менделеев и тому подобное) отделяют пробелами (но лишь одним!). Согласно правилам правописания пробел обязателен после любой точки, ведь точка — это признак нового слова. Этой нормой де-факто часто пренебрегают между инициалами, а между “и т. д., и т. п.” — увы! — практически всегда. Пробелом не нужно отделять тире между цифрами (например: 25–40 м), а также дефис. Не делают пробел в середине скобок, кавычек, перед запятой, точкой, двоеточием.

Не нужно делать азачный отступ с помощью пробелов или табулятора! Для набора слов вразрядку пользуйтесь не пробелами а межбуквенным интервалом (Формат / Шрифт / Интервал / Разреженный). Не набирайте текст включив Caps Lock.

Фамилии. Напоминаем, что в текстах написанных на украинском языке мужские украинские и прочие славянские фамилии склоняются как соответствующие существительные, а женские на согласный и о — нет. Сравните: ...у роботі Марії Сенник — Василя Сенника, ... дякуючи Надії Балій — Михайлові Балієві, ...за Ніною Байко — за Андрієм Байком. Итак, если вы пишете по-украински, ссылаясь на автора, который Вам известен лишь по инициалам и фамилия которого заканчивается на согласный или о, Вам придется разузнать мужчина ли это или женщина.

Таблицы. Формат таблиц — MS Word. По возможности форматируйте таблицы в книжной ориентации. Размер кегля в таблицах можно уменьшить до 9 пунктов. Заголовки в таблицах делайте как можно более краткими, сокращений (кроме общепринятых) нужно избегать. Длинные и сложные заголовки рекомендуется оформлять в качестве сносок к таблице. Все таблицы должны иметь номера (если их больше одной) и заголовки. Ссылки на них в тек-

сте обязательны. *Не вставляйте их в текст в виде изображений!*

Формулы следует набирать в редакторе *Microsoft Equation*, и не вставлять их в текст в виде таблиц или изображений. Формулам надо присваивать сквозную нумерацию. Пожалуйста, не пользуйтесь программой MathType.

Иллюстрации

Все рисунки нужно пронумеровать (если их больше одного). Ссылки на них в тексте обязательны.

Иллюстрации (снимки, схемы, диаграммы) вставляют в документ Word и представляют отдельными файлами в формате TIFF с разрешением не меньшим 300 dpi на дюйм в масштабе публикации. Рисунки должны иметь условные знаки — например в виде “кирпичиков” с цифрой справа. Название рисунка и легенду нужно вынести в текст.

Подписи под рисунками должны выглядеть так:

Рис. 1. Название рисунка (если в рукописи только один рисунок слово “Рис.” не пишут).

1 — пояснение условного знака под номером 1; 2 — пояснение условного знака под номером 2 и т. д.

Графики должны быть выполнены с использованием графических редакторов, которые, по крайней мере, отвечают уровню MS Excel. Не представляйте выполненные от руки и отсканированные материалы.

Литература

Ссылки на литературный источник в тексте подают в квадратных скобках. В скобках указывают порядковый номер работы, цитируемый в списке литературных источников. Список литературы составляют по алфавиту. В алфавитном порядке сначала идут источники на русском и украинском языках, а после — англоязычные — в порядке латинского алфавита. Библиографическое описание документов составляют по стандарту библиографического описания документов ДСТУ ГОСТ 7.1:2006.

При сокращении слов пользуются ДСТУ 3582-97 “Скорочення слів в українській мові у бібліографічному описі” а также ГОСТ 7.12.93 “Библиографическая запись. Сокращения слов на русском языке. Общие требования и правила”. Библиографические описания составляют de visu, непосредственно в соответствии с оригиналом издания.

Работы одного и того же автора приводят в хронологическом порядке. Работы одного и того же автора при наличии соавторов размещают в алфавитном порядке с учетом фамилии второго автора.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Авторские права и нормы научной публикации

Передавая материалы в редакцию, автор гарантирует наличие у него авторских прав на рукопись и дает согласие на публикацию текста и метаданных статьи (включая фамилии и инициалы авторов, места их работы и e-mail автора для корреспонденции) в журнале, что подразумевает распространение в печатном варианте, размещение электронных копий в сети Интернет на сайтах журнала и специализированных научных баз данных (в том числе наукометрических), перевод на иностранные языки. При этом за автором сохраняется право использования опубликованного в журнале материала в личных (научных, преподавательских) целях. Но воспроизведение опубликованной информации третьими лицами в любом виде, включая перевод на другие языки, возможно только с разрешения редакции с обязательным указанием полной библиографической ссылки. При представлении рукописи в редакцию авторы гарантируют отсутствие ранее опубликованных ими или представленных на рассмотрение в другие научные издания материалов с аналогичным содержанием. В противном случае авторы должны предоставить редактору информацию о предыдущей публикации данных, содержащихся в статье.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Авторское соглашение

(документ должен быть подписан ответственным автором публикации)

Авторы, направляя рукопись в редакцию “Украинского журнала дистанционного зондирования Земли”, соглашаются с тем, что редакции передаются права на защиту и использование рукописи (переданного в редакцию журнала материала, в т. ч. такие охраняемые объекты авторского права как фотографии автора, рисунки, схемы, таблицы и т. д.), в том числе на воспроизведение в печати и в сети Интернет; на распространение; на перевод рукописи на любые языки; экспорта и импорта экземпляров журнала статьи авторов с целью распространения, на доведение до всеобщего сведения. Указанные выше права авторы передают редакции без ограничения срока их действия и на территории всех стран мира без ограничения, в т. ч. на территории Украины. Авторы гарантируют наличие у них исключительных прав на использование переданного редакции материала. Редакция не несет ответственности перед третьими лицами за нарушение данных авторами гарантий. За авторами сохраняется право использования опубликованного материала, его фрагментов и частей в личных, в том числе научных и образовательных целях. Права на рукопись считаются переданными авторами редакции с момента подписания в печать выпуска журнала, в котором он публикуется. Перепечатка материалов, опубликованных в журнале, другими физическими и юридическими лицами возможно только с согласия редакции, с обязательным указанием выпуска журнала, в котором был опубликован материал.

Я (ответственный автор) подтверждаю, что я в достаточной степени участвовал в разработке концепции/дизайна этой работы, анализе данных, а также написании рукописи для принятия ответственности за это. Я ознакомлен с окончательным вариантом рукописи и утвердил его для публикации. Ни одна рукопись с аналогичным содержанием не была опубликована под моим авторством и не рассматривается для публикации в других изданиях. Я также ознакомлен с вышеуказанными условиями опубликования рукописи и принимаю их.

Дата, подпись