

УДК 528.8.04

А. Д. Федоровский, Л. П. Лищенко, И. Г. Артеменко, К. Ю. Суханов

Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі
Інституту геологічних наук Національної академії наук України, Київ

МОДЕЛИРОВАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ CO₂ В АТМОСФЕРЕ НА ОСНОВЕ КОСМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ДЗЗ (НА ПРИМЕРЕ НИКОПОЛЬСКОГО ГОРНОПРОМЫШЛЕННОГО РАЙОНА)

На прикладі Нікопольського гірничопромислового району обґрунтовується методика моделювання змін вмісту в атмосфері вуглекислого газу під впливом антропогенних і природно-антропогенних процесів. Використовувались космічні знімки Землі з 2002 по 2009 рр.

ВВЕДЕНИЕ

Охрана окружающей природной среды и рациональное использование естественных ресурсов — одна из актуальных проблем современности. Киотский протокол, являющийся дополнением к Рамочной конвенции ООН об изменении климата (РКИК), обязывает развитые страны и страны с переходной экономикой сократить или стабилизировать выбросы парниковых газов в 2008—2012 гг. по сравнению с 1990 г. Соответственно с этим каждая страна, подписавшая Киотский протокол, имеет свою квоту на выбросы парниковых газов. В то же время странам, которые превышают выбросы по своей квоте, необходимо или сократить выбросы парниковых газов или приобрести часть квоты тех стран, у которых уровень выбросов парниковых газов меньше, чем в 1990 г. Киотский протокол стал первым глобальным соглашением об охране окружающей среды, основанным на рыночном механизме регулирования — механизме международной торговли квотами на выбросы парниковых газов.

В связи с этим очевидна актуальность создания методик моделирования и прогноза содер-

жания в атмосфере углекислого газа, которое зависит от различных природных и техногенных факторов. К двум основным факторам относятся: антропогенные процессы, которые связаны с выделением CO₂ при сжигании органического топлива и природно-антропогенные, связанные с изменениями во времени видового состава и занимаемых площадей растительного покрова [2].

Для мониторинга содержания CO₂ в земной атмосфере наиболее перспективными источниками информации представляются многоспектральные космические снимки ДЗЗ, полученные как в оперативном режиме, так и за предыдущие годы наблюдений ДЗЗ [4].

Цель данной работы заключается в обосновании методики моделирования сценариев изменения содержания в атмосфере углекислого газа в зависимости от антропогенных и природно-антропогенных процессов. В качестве исходной информации использовались космические снимки Никопольского горнопромышленного района за период с 2002 по 2009 гг.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Никопольский горнопромышленный район (НГПР) площадью порядка 50 × 30 км² выбран в связи с тем, что эта территория за исследуемый период испытала значительные преобразования под влиянием хо-

зяйственной и горнопромышленной деятельности. Основными причинами таких изменений является интенсивная карьерная добыча марганцеворудного сырья, его обогащение и наращивание объемов промышленного производства. Как следствие этого является изменение природно-техногенной среды — расширение площадей отчуждения под добычу и переработку сырья и сокращение площадей, занятых природными ландшафтами [3].

В качестве исходной информации для получения данных о развитии антропогенных и природно-антропогенных процессов были использованы космические снимки ДЗЗ территории Никопольского района со спутников «Метеор-3М», «Landsat-7», EOS AM-1 Terra за период с 2002 по 2009 гг. Концентрация CO_2 в атмосфере за этот период определялась на основе данных Национального управления США по аэронавтике и исследованию космического пространства (NASA), полученных при использовании сенсора AIRS космический аппарат Aqua за период с 2002 по 2009 гг. [11].

На рис. 1 представлены космические снимки НГПР со спутников «Метеор-3М» (2002 г.) и EOS AM-1 Terra сенсор ASTER (2009 г.). График изменения концентрации CO_2 в атмосфере исследуемого района по квартально с 2002 по 2009 гг. представлен на рис. 2.

МЕТОДЫ

Среди методов дешифрирования космических снимков ДЗЗ для решения задач космического геомониторинга ДЗЗ интерес представляет группа геоморфологических методов (ландшафтных, морфографических, морфометрических), где используются разные косвенные признаки (цвет, яркость, структура и текстура), которые воспроизводятся на изображениях земной поверхности. Дешифрирование на основе геоморфографических методов, способствующих исследованию и решению различных задач природопользования, основано на качественном анализе расчлененности рельефа, рисунка гидросети, кольцевых структур, линеаментов и других признаков тектонических структур. Геоморфометрические методы позволяют представить качественные морфографические показатели в количествен-



Рис. 1. Космические снимки Никопольского горнопромышленного района: а — «Метеор-3М» (2002 г.), б — «Terra Aster» (2009 г.)

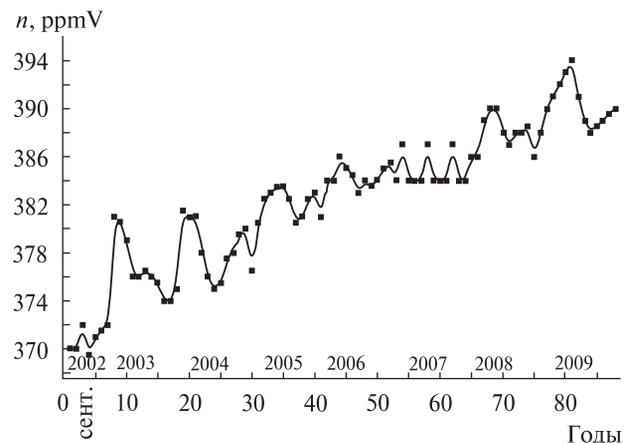


Рис. 2. Изменение концентрации n углекислого газа в атмосфере Никопольского горнопромышленного района с 2002 по 2009 гг.

ной форме: в виде цифровой информации, карт изолиний и т. д. [1]. Текстуальные признаки, благодаря простоте и компактности описаний, значительно расширяют возможности морфологических методов, их можно сравнить с инвариантами моментов или стохастическими инвариантами. Для выявления пространственных информативных признаков разных фрагментов использовался пространственно-частотный анализ изображений, который позволяет в сжатой форме описать структурные характеристики того или другого фрагмента. Под пространственно-частотным анализом предполагается представление двумерного распределения плотности фототона исследуемого фрагмента снимка в виде набора соответствующих пространственных гармоник, называемого пространственным спектром [8, 10].

В ЦАКИЗ ИГН НАН Украины была разработана специальная компьютерная программа, которая позволяет для фрагмента снимка вычислить двумерный пространственный фурье-спектр как для отдельных спектральных каналов, так и для синтезированного из нескольких спектральных слоев снимка.

Кроме того, при дешифрировании космических снимков использовались известные методы марковских моделей и фрактальной геометрии с их приложениями к описанию форм различных объектов [7]. Математическую основу этих методов составляет модель поверхностного фрактала, программная реализация которого использовалась для дешифрирования космических изображений различных ландшафтов НГПР.

Для моделирования содержания углекислого газа в атмосфере в зависимости от антропогенных и природно-антропогенных процессов использовался ландшафтно-системный подход [9]. Суть метода состоит в анализе природной среды как сложной системы, объединяющей в себе множество разнородных процессов, связанных между собой стохастическими зависимостями. Анализ архивных данных этих процессов обеспечивает построение динамической модели соответствующей природной системы, предназначенной для моделирования сценариев развития в ней этих процессов.

Одним из перспективных методов моделирования сложных систем является метод адаптивного баланса влияний (АВС-метод), основанный на системном анализе причинно-следственных связей между моделируемыми процессами [5, 12]. Таким образом, возникает задача построения динамико-стохастической модели адаптивного баланса влияний на основе экспертных данных о причинно-следственных отношениях в модельной системе с дальнейшим моделированием процессов развития. Основное уравнение метода выражает баланс тенденций в изменении значений процесса (x), обусловленных влияниями на него со стороны других процессов [6]:

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

Уравнение (1) становится наиболее простым в случае выбора базовой функции влияний $F^{(+)}$ в форме параболы, которая асимптотично приближается к единице. При этом уравнение становится линейным и приобретает вид

$$\frac{dx_i}{dt} = a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 + \dots + a_{i,i-1}x_{i-1} + a_{i,i+1}x_{i+1} + \dots + a_{in}x_n - x_i, \quad (2)$$

где t — временной 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.

В ЦАКИЗ ИГН НАН Украины для моделирования содержания углекислого газа в атмосфере была разработана компьютерная программа, которая использовалась в данной работе.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

С помощью компьютерных программ была выполнена тематическая обработка космических снимков территории НГПР, которая позволила картографировать изменения по площади и во времени развитие антропогенных и природно-антропогенных процессов. В таблице приведены результаты этой обработки в виде процентных соотношений соответствующих площадей процессов.

Для моделирования значения площадей антропогенных и природно-антропогенных процессов и значения концентрации CO₂ в атмосфере, приходящиеся на летний период (таблица) нормировались. Моделирование сценариев развития содержания CO₂ в атмосфере выполнялось на основе разработанной концептуальной модели и математических уравнений (1) и (2) для десяти вариантов исследуемых процессов.

На рис. 3 представлены результаты моделирования сценария изменения содержания CO₂ в атмосфере НГПР в зависимости от изменения антропогенных и природно-антропогенных процессов.

На графике по горизонтальной оси нанесены последовательные временные отсчеты, а по вертикальной — относительные значения исследуемых процессов и концентрации CO₂ в атмосфере. Из рассмотрения полученных зависимостей можно заключить, что при расширении площадей антропогенных процессов растет содержание CO₂ в атмосфере и уменьшаются площади природно-антропогенных процессов, что негативно сказывается на экологическую обстановку в НГПР.

ВЫВОДЫ

Имитационные эксперименты с моделью НГПР показали, что последняя адекватно реагирует на изменения входящих в нее значений процессов, позволяет наблюдать динамику развития сце-

Размер площадей антропогенных и природно-антропогенных процессов и значения концентрации n CO₂ в атмосфере Никопольского горнопромышленного района с 2002 по 2009 гг.

Номер п/п	Год	Площадь антропогенных процессов, %	Площадь природно-антропогенных процессов, %	n , ppmv
1	2002	59	41	372
2	2003	58	42	379
3	2004	57	43	381
4	2005	56	44	384
5	2006	54	46	385
6	2007	51	49	386
7	2008	47	53	390
8	2009	45	55	394

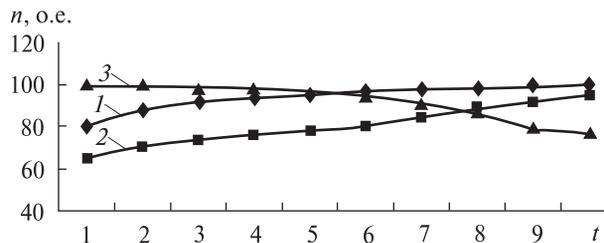


Рис. 3. Результаты моделирования изменения концентрации CO₂ в атмосфере НГПР (ряд 1) в зависимости от изменения антропогенных (ряд 2) и природно-антропогенных (ряд 3) процессов

нариев функционирования природной системы НГПР, при которых рост антропогенной нагрузки непосредственно влияет на содержание CO₂ в атмосфере и экологическую обстановку в НГПР при уменьшении площади природно-антропогенных процессов.

На примере исследования НГПР обоснована возможность моделирования сценариев развития содержания в атмосфере углекислого газа в зависимости от антропогенных и природно-антропогенных процессов с использованием в качестве исходной информации космических снимков ДЗЗ.

1. Григорьев А. А. Космическая индикация ландшафтов Земли. — Л.: Изд-во ЛГУ, 1975. — 185 с.
2. Изменения земных систем в Восточной Европе / Отв. ред. В. И. Лялько. — Киев, 2010. — 582 с.
3. Лищенко Л. П., Рябоконеко С. А., Федоровский А. Д. Оценка геоэкологического состояния горнопромышленных территорий на основе ландшафтно-системного подхода и аэрокосмической информации // Экологія довкілля та безпека життєдіяльності. — 2004. — № 2. — С. 5—11.
4. Лялько В. І., Артеменко І. Г., Жолобак Г. М. та ін. Дослідження впливу змін CO₂ та CH₄ в атмосфері на клімат за матеріалами космічних зйомок // Геолог. журн. — 2007. — № 4. — С. 7—16.
5. Моисеев Н. Н. Математические задачи системного анализа. — М.: Наука, 1981. — 487 с.
6. Тимченко И. Е., Игумнова Е. М. Прогнозирование природных процессов методом адаптивного баланса влияний // Мор. гидрофиз. журн. — 2004. — № 5. — С. 53—63.
7. Федер Е. Фракталы. — М.: Мир, 1991. — 254 с.
8. Федоровский А. Д. К вопросу дешифрирования космических снимков природных ландшафтов // Космічна наука і технологія. — 1999. — 5, № 5/6. — С. 9—15.

9. Федоровский А. Д., Лищенко Л. П. Ландшафтно-системный подход при оценке геоэкологической ситуации в регионе // Доповіді НАН України. — 2003 — № 11. — С. 126—131.
10. Харалик Р. М. Статистичний і текстурний підхід до опису текстур // ТИИЭР. — 1979. — № 5. — С. 98—120.
11. Engelen R. J., Serrar S., Chevallier F. Four Dimensional Data Assimilation of Atmospheric CO₂ using AIRS Observations // J. Geophys. Res. — 2009. —
12. Forrester J. W. Industrial Dynamics. — Cambridge MA, Productivity Press, 1961. — 391 p.

Надійшла до редакції 03.12.10

*A. D. Fedorovsky, L. P. Lischenko,
I. G. Artemenko, K. Yu. Sukhanov*

SIMULATION OF ATMOSPHERIC CARBON DIOXIDE CONTENT USING SPACE-BORN REMOTELY SENSED DATA: CASE STUDY FOR THE NIKOPOL MINING DISTRICT

The procedure of the simulation of changes in atmospheric carbon dioxide content under the influence of anthropogenic and natural-anthropogenic processes is substantiated using the Nikopol mining district as an example. Space-born images of the Earth from 2002 to 2009 are applied.