

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**  
**НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ**  
**ІНСТИТУТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ І ГЛОБАЛЬНОГО**  
**ІНФОРМАЦІЙНОГО ПРОСТОРУ**

# **ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА** **та природокористування**

**Збірник наукових праць**

**Випуск 2**



Київ  
КНУБА  
2008

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

**НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ**

**ІНСТИТУТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ І ГЛОБАЛЬНОГО  
ІНФОРМАЦІЙНОГО ПРОСТОРУ**

# **ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА та природокористування**

**Збірник наукових праць**

Заснований у 2008 р.

**ВИПУСК 2**

Київ  
КНУБА  
2008

Редакційна колегія

Головні редактори — *Волошкіна О.С.*, д-р техн. наук, проф.

— *Трофимчук О.М.*, д-р техн. наук, проф.

Відповідальний секретар — *Клімова І.В.*, канд. техн. наук, доц.

Члени колегії:

*Білявський Г.О.*, д-р геол.-мін. наук, проф.

*Биченок М.М.*, д-р техн. наук

*Довгий С.О.*, д-р фіз.-мат. наук, проф., чл.-кор. НАНУ

*Заграй Я.М.*, д-р хім. наук, проф.

*Калюх Ю.І.*, д-р техн. наук, проф.

*Качинський А.Б.*, д-р техн. наук, проф.

*Коржнев М.М.*, д-р геол.-мін. наук, проф.

*Малкін Е.С.*, д-р техн. наук, проф.

*Олійник О.Я.*, д-р техн. наук, проф., чл.-кор. НАНУ

*Прокопчук І.Т.*, д-р техн. наук, проф.

*Рібаков Л.О.*, д-р техн. наук

*Соботович Е.В.*, д-р геол.-мін. наук, проф., акад. НАНУ

*Терновцев В.О.*, д-р техн. наук, проф.

*Удод В.М.*, д-р біол. наук, проф.

*Трофімович В.В.*, канд. техн. наук, проф.

*Тугай А.М.*, д-р техн. наук, проф.

*Яковлев Є.О.*, д-р техн. наук

Рекомендовано до друку Вченою радою Київського національного університету будівництва і архітектури (протокол № 37 від 17 жовтня 2008 р.)

Екологічна безпека та природокористування: Зб. наук. праць / **Е45** М-во освіти і науки України, Київ. нац. ун-т буд-ва і архіт., НАН України та Ін-т телекомунікацій і глобал. інформ. простору; редкол.: О.С. Волошкіна, О.М. Трофимчук (голов. ред.) [та ін.]. — К., 2008. — Вип. 2. — 220 с. — Бібліогр. в кінці ст.

Свідectво про державну реєстрацію наукового збірника «Екологічна безпека та природокористування» серія КВ № 14146-3117Р від 27 травня 2008 р.

Автори опублікованих матеріалів несуть відповідальність за добір і точність наведених цитат, формул, власних імен та інших відомостей

Адреса редакції:

03037, Київ, Повітрофлотський пр., 31, КНУБА, кім. 247

Тел.: (044) 245-54-91, 245-48-44 Е-mail: stf@knuba.edu.ua, iklimova@i.ua

**УДК 502; 338**

**ББК 20.Ія43**

© КНУБА, 2008

ІТГІП, 2008

---

---

## ЗМІСТ

### *Розділ 1. ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА*

**G. Gerber**

Microbial environment, immunity and human health

**Герхард Гербер**

Микробиологическая среда, иммунитет и здоровье человека 5

**С.М. Андреев, Г.Я. Красовский,**

**Вит.В. Радчук, В.В. Радчук**

Принципы организации геопортала на основе данных ДЗЗ  
для управления территориальным развитием ..... 51

**В.Г. Писаренко, Ю.В. Писаренко**

Создание прикладного программного обеспечения для геоин-  
формационных систем регионов Украины с высоким риском  
наводнений ..... 77

**Г.Я. Красовский, А.Н. Трофимчук,**

**В.А. Слободян, А.Н. Брашеван**

Распознавание загрязнений морских акваторий с использо-  
ванием искусственных дешифрованных признаков ..... 93

**Н.Д. Гомеля, Т.В. Крысенко, А.С. Коваль**

Утилизация фильтратов, образующихся после уплотнения скопа  
влажных осадков, котоые образуются на локальных сооруже-  
ниях картонно-бумажного производства ..... 105

**С.М. Андреев, В.А. Жилін, С.М. Трохимчук**

Особливості застосування сучасних пристроїв сканування для  
перенесення геоінформації з галогенідосрібних носіїв на  
цифрові ..... 112

<b>О.С. Бутенко, С.И. Березина, Г.Я. Красовский</b> Анализ данных космического мониторинга при прогнозировании распространения выявленных аномалий .....	135
<b>В.М. Удод, М.Ю. Яців</b> Просторово-часова екологічна характеристика р. Прут на різних її ділянках .....	146
<b>С.М. Маджд, К.М. Франчук</b> Вдосконалення контролю екологічного стану ґрунту на прилеглих до авіапідприємств територіях .....	163
<b>Є.С. Анпілова, О.С. Волошкіна, О.М. Трофимчук</b> ГІС/ДЗЗ технології при веденні моніторингу в басейні транскордонної річки Сіверський Донець .....	171

## **Розділ II. ОСНОВИ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ ТА БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ**

<b>А.В. Яковенко, В.А. Сербин</b> Эффективность использования биогаза в фермерском хозяйстве .....	179
<b>В.С. Луцько</b> Погода і економіка .....	187
<b>В.Д. Захматов</b> Эффективное, быстрое и безопасное тушение пожаров на складах боеприпасов .....	200

---

---

## Розділ 1. Екологічна безпека

---

---

УДК 574/578(031)

### **MICROBIAL ENVIRONMENT, IMMUNITY AND HUMAN HEALTH**

Gerber G.

(Charité-Universitätsmedizin Berlin,  
Humboldt-Universität und Freie Universität Berlin,  
Alumni-Club der Charité, Augustenburger Platz 1;  
13353 Berlin, Germany)

*Sophisticated analytical tools for elucidating genome structure and life of bacteria yielded a new paradigm on our relation to the microbial environment. Formerly, bacteria were seen as jeopardising invaders, and studies on bacterial pathogenesis were the basis for great medical progress in the restraint of infections. Now it becomes clear that Homo sapiens is not a single-species organism, but it is to understand as a complex ecosystem assembled of a 10:1 mixture of both environmental microbial and human cells.*

*The gargantuan diversity of prokaryotic life includes genetic multiplicity, metabolic endowment, colonised habitats, and response to physical and chemical stresses. Advances in microbiology, molecular biology, biochemistry and eukaryotic cell biology have enabled striking discoveries on how eukaryotic cells cooperate with colonising bacteria. Bacterial life in multi-species associations and biofilms limits competition, reduces temporal variance of productivity, enhances performance, and favours positive interactions among the allied members. Quorum sensing, hypermutable loci in the genome, horizontal transfer of genes distributed within the population and the enduring crosstalk with the epithelia and the innate immune system of the host warrant stability within the microbial community and maintenance of the mutually beneficial association with the host.*

*Factors accompanying our current life such as over- and malnutrition, physical inactivity, excessive use of tobacco, alcohol, drugs and medicine,*

© Gerber G., 2008

*UV-irradiation, incorporation/inhalation of pesticides, toxic gases and heavy metals and growing-up in a sanitised world disturb the immune balance and the host-microbiota partnership. Phobia of germs, compulsive hygienic custom pattern, and the excessive use of antibiotic agents are detaining the immune system of the microbial information input upon which it is dependent.*

*This conglomerate of factors and habits conforms to a huge increase of chronic inflammatory diseases, e.g. atherosclerosis, inflammatory bowel diseases, diabetes, asthma, rheumatism, neurodermatitis, psoriasis, adipositas, and cancer. It may be necessary to invent measures of replacing the microbial input. Food additives with immune modulating (e.g. beta-glucans), prebiotic (e.g. oligofructosides) or probiotic (e.g. Bifidus, Lactobacillus) features are anticipated to improve a tilted host-microbiota partnership, immunity and constitutional performance.*

*Складні аналітичні підходи до вивчення структури і життя бактерій породили нове відношення що до мікробного оточуючого середовища. Раніше розглядали бактерії як такі, що створюють небезпечні умови для інших організмів, і дослідження патогенезу бактеріальних захворювань були основою для великого прогресу в медицині щодо стримування інфекцій. Зараз стає зрозумілим, що Людина розумна не окремий організм, це складна екосистема, яка складається у відношенні 10:1 з різних мікроорганізмів та клітин людини.*

*Різні середовища існування колонізували величезне генетичне і метаболічне різноманіття прокариотів. Досягнення у мікробіології, молекулярній біології, біохімії і цитології еукаріотів дозволили з'ясувати, як клітини еукаріотів взаємодіють з бактеріями, які колонізують організми. В асоціаціях різноманітних бактерій обмежена конкуренція, скорочена часова різниця у відтворенні, виникають позитивні взаємодії їх членів і стимулюється робота. Відчуття «кворуму», наявність гіпермінливих місць у геномі, горизонтальний перенос генів між бактеріями в межах асоціації та стійкий взаємозв'язок з епітеліями та природною імунною системою хазяїна гарантують стабільність мікробного угруповання і взаємно корисні взаємодії.*

*Фактори, які впливають на наше життя — переїдання, недоїдання, обмежена фізична активність, надмірне вживання тютюну, алкоголю, наркотиків і ліків, ультрафіолетового опромінення, паління, дія комплексу пестицидів, отруйних газів і важких металів, виховання дітей у санованому світі — порушують імунний баланс і взаємодію організму хазяїна з бактеріями. Боязнь мікробів, суворі нав'язливі гігієнічні вимоги і надмірне застосування антибіотиків затримує розвиток імунної системи, тому що багато мікроорганізмів не потрапляють в організм людини.*

Цей набір факторів і звичок відповідає величезному збільшенню хронічних захворювань, які мають важкі наслідки, наприклад, атеросклерозу, хвороб шлунково-кишкового тракту, діабету, астми, ревматизму, нейродермітів, псоріазу, раку. Можливо треба запропонувати нові засоби заміни впливу мікроорганізмів, наприклад, використовувати харчові домішки, які містять імуномодулятори (наприклад, бета-глікани); пребіотики (наприклад, олігофруктози) або пробіотики (наприклад, Бифідобактерії, Лактобактерії). Є сподівання, що їх застосування покращить взаємодію мікроорганізмів і людини, її імунітет і сталу роботу її організму.

Сложные аналитические инструменты, объясняющие структуру и жизнь бактерий, привели к новому отношению к микробной окружающей среде. Прежде бактерии рассматривали как такие, которые создают опасные условия для других организмов, а исследования бактериального патогенеза были основанием для большого медицинского прогресса в сдерживании инфекций. Теперь становится ясно, что Человек разумный не отдельный организм, а сложная экосистема, состоящая в отношении 10:1 из разных микроорганизмов и человеческих клеток.

Разные среды обитания колонизировали гигантское генетическое и метаболическое разнообразие прокариот. Достижения в микробиологии, молекулярной биологии, биохимии и цитологии еукариот позволили показать как клетки еукариот сотрудничают с колонизирующими организм бактериями. В ассоциациях разнообразных бактерий ограничена конкуренция, сокращена временная разница воспроизводства, возникает положительное взаимодействие их членов и стимулируется работа. Ощущение «кворума», гиперизменчивые места в геноме, горизонтальный перенос генов между бактериями в пределах ассоциации и устойчивая связь с эпителиями и врожденной иммунной системой хозяина гарантирует стабильность микробного сообщества и взаимно полезное взаимодействие.

Факторы, сопровождающие нашу текущую жизнь, такие как сверхили недоедание, физическая бездеятельность, чрезмерное использование табака, алкоголя, наркотиков и лекарств, ультрафиолетовое облучение, действие комплекса пестицидов, ядовитых газов и тяжелых металлов и воспитание детей в санитованном мире нарушают иммунный баланс и взаимодействие организма хозяина с бактериями. Боязнь микробов, строгие навязчивые гигиенические требования и чрезмерное использование антибиотиков задерживает развитие иммунной системы, т.к. многие микроорганизмы не попадают в организм человека.

Этот набор факторов и привычек порождает огромное увеличение хронических болезней, которые имеют тяжелые последствия,



*например, атеросклероза, болезней кишечника, диабета, астмы, ревматизма, нейродермитов, псориаза, рака. Может быть необходимо предложить новые методы замены влияния микроорганизмов, например, пищевыми добавками, содержащими иммуномодуляторы (например, бета-глицаны), пребиотики (например, олигофруктозы) или пробиотики (например, Бифидобактерии или Лактобактерии). Как ожидают, их применение улучшит взаимодействие микроорганизмов и человека, его иммунитет и стабильную работу его организма.*

## **1. Microbial diversity and human activity**

Fifteen hundred scientists under the auspices of the United Nations Environment Programme (UNEP) completed in 1995 the Global Biodiversity Assessment (Heywood 1995). This appraisal alludes to the biological diversity at all levels — genes, species, and ecosystems — and is still extremely uncertain. Of its working figure of 13 million species, only approximately 1.7 million have been scientifically described and given Linnaean nomenclature. These living organisms interact among them and with the non-living environment and comprise the global ecosystems. The biological multiplicity is pivotally evident for human society and sustainable development. A reckoned 40 per cent of the global economy rests upon biological products and processes. Faced with the rate of species extinctions, which is hundreds or thousands of times the natural background level, the public begins to raise attention on the outcome of human activities on biodiversity. However, the appreciation on how activity of mankind, human health and biodiversity are intimately connected among one another will only increase in coming years.

Having a glance in a biology textbook of the 1980s one may realise that the living matter is subdivided in five kingdoms: Bacteria, Protoctista (nucleated unicellular organisms), Fungi, Plantae and Animalia. About 5000 species classified by means of traditional bacteriological techniques were allocated to non-eukaryotic organisms, and thus should contribute only a minor portion to the overall species variety (Skerman et al. 1989). Just for comparison: more than half a million insect species have been classified.

Beginning in the 1960s it became feasible to define prokaryotes on the basis of shared molecular characteristics when Zuckerkandl and Pauling (1965) expounded the role of nucleic acid as the master

candidate of a molecular phylogeny. Obviously, microbial morphology, motility, metabolism and serological types are too simply or inexplicable to serve as the basis for a phylogenetically compelling taxonomy. Sophisticated techniques such as reverse transcription (RT)-PVR, DNA micro arrays, in vivo expression technology (IVET), fluorescence in situ hybridisation (FISH), restriction fragment length polymorphism, subtractive hybridisation, signature-tagged mutagenesis, in situ isotope tracking, and the sequencing revolution replaced classical phenotypic characteristics by molecular criteria. This progress culminated in two scientific acmes at the end of the last century: i) the creation of a new natural system of organisms dividing life on our planet in three domains (Woese et al. 1990), and ii) the whole-genome random sequencing and assembly of a free-living microorganism, the  $\gamma$ -proteobacterium *Haemophilus influenzae* Rd. (Fleischmann et al. 1995). Comparison of the unique sequences of nucleobases in the chromosomes has all of a sudden shown that the three primary domains are: Bacteria, Archaea, and Eukarya. These domains evolved in parallel along three phylogenetic lineages.

The small unit of ribosomal ribonucleic acid (16S rRNA from prokaryotic cells and 18S rRNA from eukaryotic cells) proved to be an elegant taxonomic tool in regard of the following: first, it is present in all organisms, and secondly, it contains highly conserved as well as variable nucleotide sequences. Divergence between species or strains may be evident when comparisons are made of the variable regions, and comparing highly conserved regions may elucidate divergence at the higher taxonomic ranks (domain, kingdom). Nowadays, techniques for high-throughput cultivation of more than 10,000 bacterial and fungal isolates per environmental sample are available (Zengler et al. 2002). That provides access to the immense reservoir of untapped microbial diversity by cultivation. Determination the species composition of a microbial community needs to be followed by establishing the functions of the community and of each of its members (metabolic fingerprinting by community level physiological profiling CLPP). After all, one has to have in mind that there is an ongoing debate on methods for defining species, mechanisms that lead to speciation and whether microbial species even exist. Achtman and Wagner (2008) propose that a method-free species concept based on cohesive evolutionary forces should direct decisions on the existence of species and procedures to define them.

From a commonplace of view we recognise only the multicellular creatures as the denizens of our earth. All are Eukarya, but many single-cellular belong to this domain, too. Bacteria and Archaea are exclusively composed of prokaryotic cells and are thus microbial. The major advances in molecular and cell biology and the application of these methodologies on microbiology produced cross-fertilisation of these disciplines and had impacts, which was unimaginable only a generation ago (Table 1). The gargantuan diversity of prokaryotic life includes genetic multiplicity, metabolic endowment, colonised habitats, and response to physical and chemical stresses. Microorganisms are the major life forms on earth and reside yet in extreme environments like very rocks, hot springs and submarine grounds. The amount of carbon that is piled up in prokaryotes matches that in the plant kingdom. In case of nitrogen and phosphorus the ratio is even ten in favour of the microbes. Since only less than 1% of species of the microbial world was cultivated and studied under laboratory conditions, we know nothing of them other than what can be inferred from their genomic sequence.

The majority of microorganisms lives in microbial dynamic assemblages. The stability and functions of these consortia are ruled by dependencies and antagonisms among the members. Life in multi-species associations and biofilms limits competition and favours positive interactions among the allied bacteria. A fraction of the microbial universe coexists with animals in mutually beneficial association. Such microbial communities have to assert themselves with the vicissitudes of their host (Handelsman et al. 2005). Microbial symbioses with animals warrant benefits to both host and bacteria and promote their macro-evolutionary persistency. Such symbioses have played an essential role in revival of the biosphere after periodic mass annihilation of major groups of organisms and whole ecosystems (Hickman 2005). Less than 0.0005 percent of the total domain Bacteria can cause disease. The relation in fungi is not quiet different: approximately 300 of the greater than 100,000 classified fungal species have pathogenic relationships with animals and plants (Steenbergen and Casadevall 2006). Advances in microbiology, molecular biology and eukaryotic cell biology have enabled striking discoveries on how eukaryotic cells cooperate with colonising bacteria and interact with pathogens during the infectious process. The partnering-up of these related fields progressed in a novel scientific discipline that has been termed cellular microbiology (Cossart et al. 1996).

**Table 1 — Impact of new analytical tools on cellular microbiology**

<b>Topics</b>	<b>Impact</b>	<b>References</b>
Diversity of prokaryotic life	Genetic diversity highest in the microbial world, prokaryotes encompass up to ten million species, wide range of energy substrates and the availableness of miscellaneous catabolic and anabolic pathways, occupying multiple habitats, multitude of responses to physical and chemical stresses	Stahl and Tiedje 2002 Torsvik et al. 2002
Ancestry	Eukarya, Bacteria and Archaea have split from a common ancestor 2—3.5 billion years ago	Woese et al. 1990 Doolittle et al. 1996
Biomass	4—6×10 <sup>30</sup> prokaryotic cells on earth containing 350—550×10 <sup>9</sup> tons of carbon, 85—130×10 <sup>9</sup> t nitrogen, 9—14×10 <sup>9</sup> t phosphorus, cellular production rate for all prokaryotes on earth is estimated at 1.7×10 <sup>30</sup> cells/yr, it is highest in the open ocean	Whitman et al. 1998
Cultivability	90 to 99.9 % do not grow and replicate in cultures under laboratory conditions	Henderson et al. 1999 (p.19)
Mode of life	Multi-species associations, colonies, biofilms, quorum sensing systems as signal amplifiers within a bacteria and as signal disseminators between bacteria	Palmer et al. 2007 Fuqua et al. 1994 Dunny and Winans 1999
Symbiosis	1000—3000 species (phylotypes) mutually coexist with man, specific gene-gene interactions within the microbiome (genomic plasticity)	Eckburg et al. 2005 Dethlefsen et al. 2007 Ehrlich et al. 2008
Pathogenicity	About 50 bacteria cause human diseases	Rappuoli 2006

The current debate on the use and misuse of antibiotics perpetuates a long history of semantic thoughts on microbes as friend or foe of man. In the late seventieth century, Antonie van Leeuwenhoek, who ranks first to had inspected the indiscernible minuscule life, already expressed his astonishment on the ample colonisation of our body and its environment by «animalcule» what means «little animals»: «...there are more animals

living in the scum on the teeth in a man's mouth, than there are men in the whole kingdom». Bacteriology started two centuries later with the pioneering work of Robert Koch, Louis Pasteur, Sergei Winogradsky and other scientific heroes. Koch and Pasteur developed pure culture techniques to identify causative agents of many diseases that affect humans and animals. Contrariwise, Sergei Winogradsky — born in Kiev 1856 — invented a simple columnar device for culturing a large diversity of bacterial life in natural environments. Among the bacteria within such a single column there grow members of all four basic life strategies: phototrophs, chemotrophs, autotrophs, and heterotrophs. The Winogradsky column evolved, thus, as classic tool for studying the relationships between different types of microorganisms in mixed communities. In addition, it is an elegant illustration of how microorganisms occupy highly specific niches according to their environmental tolerances and their requirements of energy and carbon.

In the aftermath microbes were dichotomous seen from the viewpoint of practical purposes (Gutzeit 1918, Duddington 1961). The «good» ones help in fermentations in the dairy industry, the manufacture of vinegar, beer, coffee, cocoa, food supplements, and feed for farm animals as well as in biomining (bioleaching) and sewage treatment. The «bad» ones are looked upon as pests or can be at least a nuisance in many everyday situations. According to the widely held opinion, germs should be eliminated or constrained in their activities. Following such options many a scientist lumbered in a meander. Ilya Metchnikoff, for example, assumed «auto-intoxication» of the human body by the intestinal microflora and practised surgical ablation of the colon. Later, however, by contemplating about longevity in Bulgarians he suggested that that may be linked to the helpful activity of lactic acid bacteria ingested with sour milk.

The elimination of bacterial pathogens appeared to become a reality when antimicrobial agents were introduced into clinical practice in the 1940s and 1950s. That was one of the most outstanding public health achievements of the 20<sup>th</sup> century. In marvelling the unimaginable aid to legions of infected patients the Western societies lost its fear of bacterial infection. In 1969 the then United States Surgeon General presumed to prophesy in his address to Congress «We can close the book on infectious diseases». One outcome of this misjudgement was the drop in research into the mechanisms by which bacteria cause communicable diseases. The other was the assumption on the selective

toxicity of a particular antibiotic to a certain bacterial pathogen: due to fundamental differences to eukaryotic cells the antibiotic therapy might not threaten the host.

Nonetheless, already in the late 1940s strains of *Staphylococcus aureus* developed resistance against penicillin. The number increased steadily and at present MRSA (methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*) is a menace of hospital settings. Resistance has developed meanwhile against all available classes of antibiotics (Virk and Steckelberg 2000, Smith and Coast 2002). Rowe-Magnus and Mazel (2006) published a survey on the evolution, biochemical mechanisms of antibiotic resistance and their genetic determinants. Species of the genus *Bacteroides* have the highest resistance rates of all anaerobic pathogens, the multiple mechanisms of which are discussed by Wexler (2007). In addition, there are alert marks just heralding man-made tumbling into a new predicament: Resistant *Staphylococcus aureus* changed its epidemiology and advanced from being a pathogen primarily related with nosocomial infection to one that has begun to recurrently infect individuals outside the hospitals (Chambers 2001). Obviously the «golden age of antibiotics» turns up jaded after merely two generations.

By traditional view, the transmission of pathogenic bacteria has been assumed to take place through ingestion of infected stuff or liquids and intimate contact with contaminated surfaces. Transmission over short distances is also possible when the pathogen is enclosed in large droplets, as in sputum. This route should be rendered more precisely on the basis of reports on airborne transmission of communicable diseases (Roy and Milton 2004). Gandara et al. (2006) gave account on the common appearance of cultivable strains of *Staphylococcus aureus* resistant against penicillin, ampicillin and cefaclor in aerosols sampled within residential homes. The infection of children without known risk factors with this pathogen has to be regarded as an exceptionally precarious observation (Gorak et al. 1999). Experiments on mouse and human cell lines demonstrate the ability of indoor air bacteria and fungal spores in boosting the production of proinflammatory mediators (Huttunen et al. 2003). The trends in the epidemiology of antibiotic-resistant pathogens give persuasive justification for more profound scientific exploration of both the indoor sources of, and morbid effects correlated with, indoor residential exposure to airborne pathogens.

Findings emphasise that current concentrated animal feeding operations (CAFOs) can result among others in the emanation of antibiotic-resistant bacteria into the general environment (Platz et al. 1995). Multiresistant strains were detected in the air plume up to 150 m downwind of a swine confined animal feeding operation (Gibbs et al. 2006). Naïve subjects living in close proximity to such facilities and employees who work inside suffered from respiratory inflammatory symptoms (Heederick et al. 2007). The paucity of data in regard of environmental and community adverse health effects of modern production of pigs and poultry resulted in a growing controversy in the public (Cole et al. 2000, Rieger 2001). Intensified cooperation among animal producers, feed professionals and health officials as well as forced research in cross-linked human and veterinary health surveillance systems are indispensable to successfully address these issues. Special attention should be given to high-risk groups such as children and asthmatics. A flicker of hope comes from Denmark, where the prevalence of macrolide-resistant species of *Campylobacter* dropped subsequently to the banning of all growth promoters from feeding in livestock.

## **2. Man and microbes are companions**

Microbes make up a considerable component of the human body. The external surface — like the skin and its adhering structures — and the internal surfaces such as the mucosal layers of the gastrointestinal, respiratory and genito-urinary system and the cavities they enclose, harbour microbial communities of different complexity. The term microbiota, or indigenous microflora, or commensal microflora, respectively, encompasses all of the bacteria, archaea, fungi, protozoa, and viruses. The bacterial component at any body site was chiefly studied, but little is known about the other types. The microbiota in the adult has a mass of about 1–2 kg, which corresponds to that of liver and outruns most other human tissues. Although this represents only about 2% of the whole body mass, in terms of cell numbers the total microbial population exceeds our total number of somatic and germ cells by at least one order of magnitude (Xu and Gordon 2003). The number of genes in this «microbiome» may overtake the human genome about 100 times. In conclusion, human sapiens may not be regarded as a single-species organism, but as a complex ecosystem

compiled of a 10:1 мйlange of both microbial and human cells (McVean et al. 2005, Eckburg et al. 2005, Ley et al. 2006). The microbiome and hosts genome collectively constitute the hologenome that includes all genes from the host and from all symbionts. It is flexible and varies with age, health, diet, and environmental factors. The 6.5 billion humans living on earth represent a microbial reservoir of  $10^{23}$ – $10^{24}$  prokaryotic cells. Thus, human intestine and that of other mammals share a considerable portion of the total microbial mass on our planet that is estimated to about  $4$ – $6 \times 10^{30}$  prokaryotic cells. The human bowel harbours  $10^{11}$ – $10^{12}$  prokaryotic cells per ml, the highest observed density for any microbial habitat (Whitman et al. 1998).

During foetal life the human being like all other mammals dwells in a sterile environment. Birth is the encounter stage in microbial colonisation of the newborn that discharges into a life-long partnership. First microbes stem from the mother, members of clinical staff, equipment and the close environment. Later, germs may attain from more distant sites of environment and from food. One may wonder in all innocence what causes the whittling down of a spectrum of more than fifty phyla of Bacteria and 13 phyla of Archaea staying alive on earth to just four phyla of Bacteria — the Bacteroidetes, Firmicutes, Actinobacteria, and Proteobacteria — that overwhelmingly dominate microbial communities of man. In the colon Bacteroidetes and Firmicutes contribute more than 95% of the microbiota, only one member of Archaea (*Methanobrevibacter smithii*) is present? Chlamydiae, Cyanobacteria, Deferribacteres, Deinococcus-Thermus, Fusobacteria, Verrucomicrobia, and Spirochaetes establish the minor balance. High levels of strain variation complete this little dissimilarity in the deep phylogenetic lineages. That type of an extreme fan-like phylogenetic architecture of the gut microbiota might have arisen in evolution from the diversification of a distinct limited primary community into strains (Ley et al. 2006). A more detailed view of the differences between genomes of human individuals and the microbiota may foreshadow a deeper comprehension on evolutionary and biological forces that have made us (Detlefsen et al. (2007).

Apparently there are stringent requirements for membership in the microbial community. Whether or not a bacterium affiliates the local biota depends on the nutritional and physicochemical conditions and the host defence on site. It obeys two fundamental rules formulated by Liebig and Shelford. The nutrient present in the lowest concentration



in comparison with the needs of the organism determines the yield of this organism according to Liebig's law of minimum. Usually the host and accompanying microbes are the sources of nutrients, intestinal microbes utilise in addition ingested foodstuffs. Shelford's law states that each of the physicochemical constraints operating on site have to remain within the tolerance range to make available the survival of a species within an ecosystem. The effectiveness of these basic laws is amended by beneficial and antagonistic interactions among the species present, colonisation history, host characteristics (genotype, age, gender, life-style, diseases). The dual hegemony of Firmicutes and Bacteroidetes apparently originates from their particular and complementary metabolic functions within the microbial community.

The «living-together» is variable with respect to species and topological distribution of microbes involved and the mode of cooperation with the host. The biochemical features of binding and identification of molecules determine the rules of pacing, extent, and pattern of microbial diversity. Different methodologies employed, variation between individuals, changes in microbial nomenclature and taxonomy, and so on hamper the compilation of published data on the distribution of particular fractions of microbes. Nonetheless, an approach is made to survey the diversity of indigenous microbiota in various sites of adult humans (Table 2). Most of the data on the microbiota still have been derived from culture-based investigations. However, cultivation methods under-represent the extent of bacterial diversity. For instance, in samples from human microbiota about 10–50% of bacteria can be cultivated, from environments (soil, lakes, seawater, sediments) less than 1%.

In spite of evident variations in tissue structural and functional properties of our outer and inner surfaces and environmental determinants, each microbial community is generally dominated by a limited number of species. Only five phyla contribute more than 90% and establish the core set of regional microbiotas. That was shown for the oral cavity, the distal oesophagus, the stomach, and the colon, where Actinobacteria, Firmicutes, Proteobacteria, Bacteroidetes and Fusobacteria are dominating. It holds to be true for skin, too, though Fusobacteria are missing there. Infrequent taxa compose the remainder of the population and may vary between times of sampling and among individuals.

The density of sudoriferous (sweat-producing) and sebaceous (sebum-producing) glands at the particular area principally influence the

Table 2 — Indigenous microbiota at various sites of human body

Body site	Number	Diversity	Bacteria
1	2	3	4
Skin, hairfollicle	$10^3 - 10^6$ per $\text{cm}^2$	Stable scaffold of small number of genera	Actinobacteria, Firmicutes, Proteobacteria, Corynebacterium, Staphylococcus, Streptococcus, Propionibacterium, Micrococcus, Kocuria, Malassezia, Brevibacterium, Dermabacter, Acinetobacter, Methylobacterium
Conjunctiva of eye	$10^2 - 5 \times 10^4$	Usually not more than 2 species	CNS (coagulase negative staphylococci), Propionibacteria, Corynebacterium, Streptococcus, Lactobacillus, Sarcina, Bacillus
Oral cavity	$10^8$ per ml saliva $10^7 - 10^9$ per $\text{cm}^2$ tongue	High	Firmicutes, Bacteroidetes, Streptococcus, Actinomyces, Neisseria, Haemophilus, Eubacterium, Lactobacillus, Fusobacterium, Abotriophia, Gemella, Veillonella, Prevotella, Bifidobacterium, Staphylococcus, Propionibacterium, Porphyromonas Plaques: Streptococcus mutans, Streptococcus viridans, Actinomyces, Veillonella, Fusobacterium, Prevotella, Eubacterium, spirochaetes Porphyromonas gingivalis, Bacteroides forsythus, and Treponema denticola
Gastro-intestinal tract	$10^{14}$ $10^{11} - 10^{12}$ cells per ml	Upper part: low Lower part: high	Oesophagus: Staphylococci, lactobacilli, Corynebacterium, Prevotella, Veillonella. Stomach: Hel. pylori, acid-tolerant streptococci, staphylococci and lactobacilli. Ileum: Streptococci, enterococci and coliforms in the lumen; on the mucosa Bacteroides, Clostridium,

Body site	Number	Diversity	Bacteria
1	2	3	4
			Bifidobacterium. Cecum: Enterobacteriaceae, lactobacilli, Bacteroidetes, Clostridium. Colon: Bacteroides, Eubacterium, Bifidobacterium, Clostridium; (by culture-independent methods: Firmicutes, Bacteroidetes, Clostridia, Bifidobacterium, Atopobium)
Respiratory tract		Upper part: high  Lower part: no resident microflora	Streptococcus, Neisseria, Haemophilus, CNS, Corynebacterium, Propionibacterium, Prevotella, Veillonella, Mollicutes. Microbes detectable in the lung, which are aspirated with microbe-containing secretions from the upper respiratory tract
Female reproductive system	$10^9$	High <4—8 per individual	Lactobacilli, CNS, Gram-negative anaerobic bacilli (GNAB), Gram-positive anaerobic cocci (GPAC), Corynebacterium, Bacteroides, Prevotella, Gardnerella vaginalis, Atopobium vaginae

Compiled from Paster et al. (2001), Wang et al. (2003), Pei et al. (2004), Eckburg et al. (2005), de Backer et al. (2007), deFranco et al. (2007), Dethlefsen et al. (2007), Gao et al. (2007), Wilson (2008).

composition of cutaneous microbiota. Corynebacterium, Propionibacterium, and Staphylococci inhabit at any site, propionibacteria dominate sebum-rich sites (forehead, scalp), corynebacteria moist areas (axillae, perineum), and staphylococci are the predominating species in dry regions such as arms and legs. Microbial communities inhabit nose and the pharynx, where they adhere to a substratum in order to prevent

expulsion by the respiratory flow. This region is a carriage site of a number of very important human pathogens (*Strep. pyogenes*, *Strep. pneumoniae*, *H. influenzae*, *Staph. aureus*, *N. meningitides*). The airways in the lungs are sterile to a large extent.

The gastrointestinal tract expanding from the oral cavity until colon and rectum is highly diverse from anatomical, functional and microbial points of view. With a surface of 200–300 m<sup>2</sup> it is the largest body surface in contact with the environment. About 700 bacterial phylotypes have been characterised in the oral cavity with considerable variations between various sites. Besides of the densely colonised tongue the teeth are the predominant area in this location. Bacteria on tooth surfaces live in biofilms that are known as plaques. Adhering to these surfaces is of pivotal significance for any potential microbial coloniser, since in this cavity biting, chewing, tongue movements, and salivary flow generate the highest mechanical forces in the body and the danger of displacement. «Pioneer colonisers» such as *Actinomyces* equipped with adhesins start colonisation of tooth's surface followed by biofilm-promoting *Streptomyces*. «Secondary colonisers», unable either to adhere, or survive on the bare tooth surface, join expansion to the plaque by autogenic growth.

The largest assembly of microorganisms undoubtedly inhabit the intestine. Most are refractory to cultivation. Physicochemical and nutrient gradients exist along the gut and in the transversal direction of the lumen. This and the complex microstructure of epithelia and the mucous layer on their exterior as well as the high rate of cell renewal make available many niches for microbial existence. So extreme species diversity (up to 1,000 species), inter-subject variability and differences between anatomical and microanatomical locations might be not astonishing (Eckburg et al. 2005). Nevertheless, a few generally consistent traits appear evident (Table 3).

The part of the body that is beneath the skin and the mucosal epithelia is devoid of microorganisms. Therefore, one function of epithelia is to prevent contact of the microbes with the rest of the body. This is realised in various modes (Fig. 1): Several junctions (tight junctions, zonula adherence, desmosomes) link epithelial cells with each other and with the underlying connective tissue matrix to establish a physical barrier. A coat of keratinised dry and dead horny cells, which are not accessible for microbes, further protects the skin. Special

**Table 3 — Characteristic traits of the intestinal microbiota**

<b>Trait</b>	<b>Property and function of gut microbiota</b>	<b>Reference</b>
Biodiversity	Restricted by stringent requirements for membership in the microbial community: - enzymes to utilise available nutrients - cell-wall accessories to contact the proper habitat and to conciliate the supervising immune system, - evade bacteriophages, - fast growing to prevent washout, - mutability to be able to adaptation - stress resistance in order to leap to other hosts overcoming an awkward or toxic environment	Ley et al. 2006
Share of anaerobes	> 99.9% of the cultivable population in adults are obligate anaerobes	Moore and Holdeman 1974
Bifidus spp.	Dominating in the preweaning microbiota, in particular Bifidobacterium longum with high activities of $\beta$ -galactosidases to utilise lactose of mothers milk	Schell et al. 2002
Regional population density	Increases from the duodenum containing $10^3$ cfu/ml (that is $10^3$ organisms per ml luminal contents) to the colon with $10^{11}$ cfu per ml contents. Thus, it increases by about 8 orders of magnitude along the gut	Savage 1977
Involvement in host metabolism	Microflora operates as a postnatally acquired, multifunctional autochthonous organ, metabolic diversity by far outperforms that of human tissues, complements the metabolism of host, e.g. cracking of indigestible polysaccharides of plant or microbial origin, degradation of dietary oxalates, bio-transformation of conjugated bile acids, synthesis of vitamins and amino acids	Salmond et al. 1995

<b>Trait</b>	<b>Property and function of gut microbiota</b>	<b>Reference</b>
Immunity	Coaching the immune system tolerance against a wide mix of environmental and food antigens, decreases number and extent of allergic responses	Braun-Fahrlander et al. 2002
Intestinal epithelia	Maintenance of intestinal epithelial homeostasis, protecting epithelial cell layers and stimulating the development of intestine's elaborate submucosal network of interconnected capillaries	Rakoff-Nahoum et al. 2004, Stappenbeck et al. 2002
Fat storage in host	Decreases lipid accumulation in adipose tissue, increases lipid mobilisation, prevents adiposity	Ley et al. 2005, Bäckhed et al. 2007

glycoproteins (mucins) secreted by the epithelium prevent mucosal surfaces from microbial sticking. One part, the membranous mucins are fixed to the cells and form the «glycocalyx». Secreted mucins form large linked polymers that are closely associated with the glycocalyx. The epithelium secretes microbicidal peptides, and local B cells secrete IgA. M-cells conduct transport of intact macromolecules from the lumen to the opposite side by an endocytose mechanism. The most remote cells on the top of the villus are regularly being expelled and are thrown out together with mucus and attached microbes.

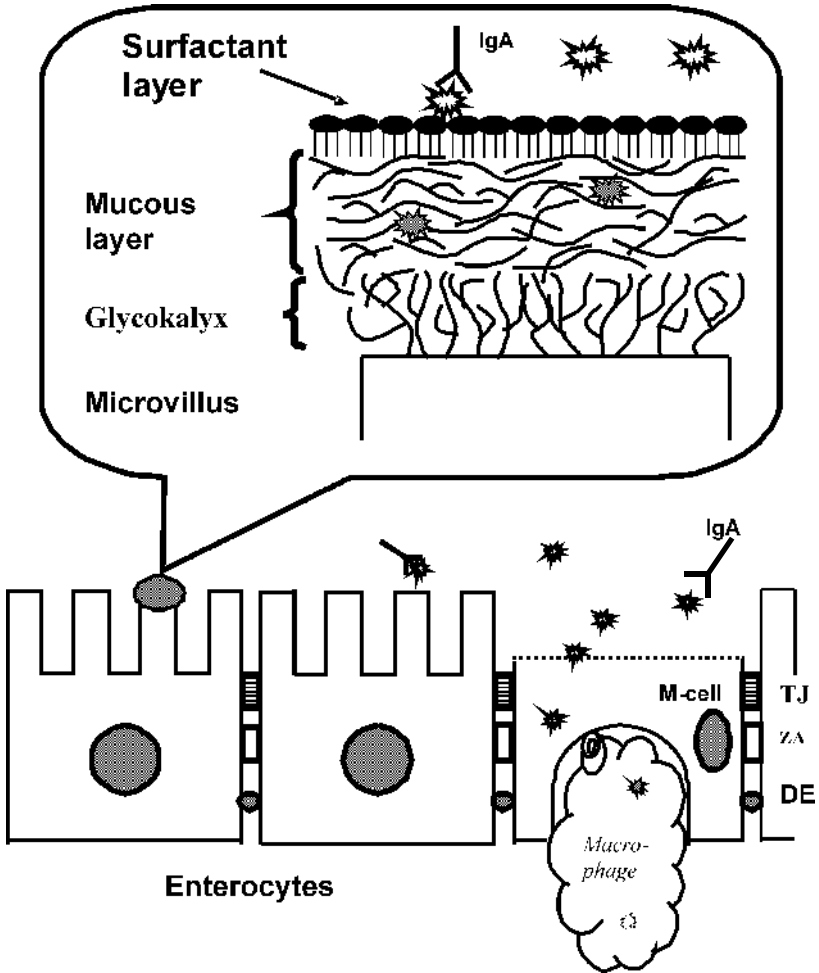


Figure 1. Physicochemical and immune barriers against microbial invaders.  
TJ = Tight junction; ZA = Zonula adherence; DE = Desmosom.

—Y— = Immunoglobulin A attacking pathogen microbes

### **3. Stabilisation of the microbiota**

The microbiota may maintain sustainable stability by two mechanisms: firstly, by interactions among the members of the microbial population, and secondly by interaction with the host.

The general types of interactions between microbial species are shown in the Table 4. These might be positive or negative for the members involved that means beneficial for survival or extinction, respectively. It should be noted that there is some confusion with respect to the term «symbiosis». Now and then it is used to characterise an exclusively beneficial cooperation such as synergism or mutualism. But, strictly speaking, it bears on any long-term relationship between two populations.

Several mechanisms that may be involved in gut stability are suggested in the Table 5. From the viewpoint of system biology species richness insures ecosystems against functional failure since various species give a better warranty that some will maintain functioning even if others fail. An understanding of long-term effects of biodiversity on ecosystem processes may be given by the insurance hypothesis (Yachi and Lereau, 1999). These authors developed a general stochastic dynamic model to assess the effects of species richness on the productivity of the ecosystem, based on individual species' productivity responses to environmental fluctuations. The model shows two major insurance effects: i) a buffering effect, i.e., a reduction in the temporal variance of productivity, and ii) a performance-enhancing effect, i.e., an increase in the temporal mean of productivity.

This and other models were designed to predict the «pure» effects of species richness by randomising and averaging across perturbing environmental factors. Later on Norberg et al. (2001) developed a more realistic, yet general, model linking diversity and ecosystems functioning by modelling the means and variances of phenotypes within a group of species. The presented framework suggests that phenotypic variance within functional groups is linearly related to their ability to respond to environmental changes. Most intriguing is the ratio between short-term productivity with low variance and fixed optimal phenotypes, and long-term productivity in changing environments with higher phenotypic variance. The adaptive model had a higher productivity than the model with a fixed phenotype. The contribution of Norberg et al. is a



**Table 4 — Type of interactions between two microbial populations A and B**

	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>B</b>
Commensalism	+	0	Supplies vitamins and amino acids, degrades polymers to monomers, solubilisation of insoluble compounds, neutralisation of toxic substances	Utilises essential substances that it is not able to synthesise, utilises monomers, utilises solubilised compounds, protects against toxic substances
Synergism	+	+	Syntrophism (Cross-feeding, food chains, food webs)	
			Bacteroides produces sulphate, Ent. faecalis converts arginine to ornithine and utilises putrescine	Desulfovibrio utilises essential sulphate, E. coli converts ornithine to putrescine that can be further utilised by this species
Mutualism	+	+	A form of synergism in which the relationship between the two organisms is obligatory	
Competition	-	-	Competitive exclusion E. coli and Clostridium difficile compete on certain sugars methanogens and sulphate-reducing bacteria compete on H <sub>2</sub>	
Amensalism	+	-	Produces toxic substances: bactericins, hydrogen peroxide, acidic end products	Cessation of growth and killing in an incompatible environment (Candida unable to grow on skin and vagina owing to low pH)
Parasitism	+	-	Protoctists Entamoeba gingivalis in the oral cavity, Dientamoeba fragilis in the intestine	Bacteria are the major food for protoctists

**Table 5 — Mechanisms of maintaining stability in the intestinal microbiota**

<b>Factor</b>	<b>Benefit for population stability</b>
Environment	Host provides optimal and stable conditions for life of microbiota, e.g. supply of nutrients, maintaining temperature and pH, keeping away perturbing foreign microorganisms
Species richness	Phenotypic variance insures microbial ecosystems against functional failure in accord to the insurance hypothesis: - buffering effect to respond to environmental perturbations - performance-enhancing effect
Community formation	More or less tight aggregations of microbial colonies, and formation of biofilms produce locally optimal conditions and protection: - „supergenome” in the population provides momentary adaptation to changes in the environment - coordinated population behaviour by quorum sensing
Separation	Life within the mucous layer along the epithelium and in spatial niches offers protection against competitors, mucous glycoproteins are utilised as food

persuasive affirmation of linking diversification, abundance and evolution as bolstered by Darwin in 1859.

There is now expanding belief that microbes of a single species or a number of different species aggregate to communities of different complexity in the colon and other sites. That encompasses individual cells attached to a surface, loosely aggregated microcolonies as well as biofilms. Four decades ago Guggenheim and Schroeder (1967) observed aggregation and clumping of *Streptococcus mutans* a few seconds after addition of sucrose into the incubation medium. Formation of high-molecular dextran was surmised to be responsible for this effect, which was soon confirmed experimentally by Gibbons and Fitzgerald (1969). Dextran binds receptor molecules on the bacterial surface and links cells to a network. These findings were conjectured as of clinical relevance for cariogenic plaque formation and may be seen as the first report of elucidation of specific macromolecular interactions to the phenomenon what we now know as biofilm. Probert and Gibson (2002) allude to experimental research on microbial biofilms already in 1936. A biofilm is apprehended as a community of surface-adherent

microorganisms enmeshed within a matrix of extracellular polymeric substances. The matrix components are usually polysaccharides. Its formation is a pivotal strategy of bacterial survival in an inhospitable environment. That makes the affiliates in a way functionally similar to a multicellular organism. The matrix of the biofilm is produced by the cells constituting the biofilm, its structural integrity depends essentially on an intact bacterial metabolism (Il'ina et al. 2004, Branda et al. 2005).

Planktonic bacteria when going to group together in a biofilm modify specific patterns of protein and gene expression, metabolic profile and specific physiology. They approach a new state that is termed «biofilm phenotype» (Whiteley et al. 2001, Sauer et al. 2002).

Biofilm communities tend to be more resistant to antimicrobial stressors, involving those exerted by host-defence, than bacteria of the similar species living planktonic. That is apparently the manifestation of several factors including vitiated penetration of the antibiotic, metabolic activity and phenotypic variability of biofilm cells.

Microbes growing in a colony may faster become antibiotic-resistant due to a greater opportunity of horizontal gene transfer. Such inducible competence and transformation mechanisms gave the basis of the «distributed genome hypothesis» or «supergenome hypothesis» (Ehrlich et al. 2005). It implies the following conceptions (Ehrlich et al. 2008): a huge phenotypic and genotypic diversity within a microbial species; an almost universally polyclonal microbial colonisation; and microbiomes in different hosts are considerably different. A microbial species is thus classified by a core genome that each member of a species possesses. It contains in addition distributed genes, which encompass genes that are not shared by all strains of a species. The species *E. coli*, for instance, possesses about 4000 obligate/core genes. In addition, there are about 2000 facultative genes, of which about 200–1500 genes are found in each individual strain. The assemblage of facultative genes codifies additional functions, which are not mandatory for survival. Rare metabolic routes, resistance against toxins, pathogenic or symbiosis features or speciation for colonisation of certain niches are such functions. Thus, the facultative genes are distributed in a gene pool. Optimised procedures of horizontal gene transfer afford immediate distribution among all members of the species. New strains can come up through inducible autocompetence and autotransformation systems. Contingency genes (hypermutable loci in the genome) are distributed

within the population and give the property of changes in phenotype at a frequency up to 1:100-1000 bacteria per generation. Typically, activities of genes are affected that interact with the environment. These mutations are random in time and cause heterogeneity within a population of replicating bacteria. That is an important mechanism of momentary adaptation to changes in the environment.

Coordinated population behaviour to gain maximal benefit in a competitive environment implies intercellular communication. Bacteria send out and perceive «hormone-like» signal molecules that increase in concentration as a function of cell density («autoinducer»). The whole population initiates a concerted action as soon as the population density and the corresponding signal concentration approach a certain threshold. Few signal transmitting molecules have been identified: post-translationally modified peptides (Hardman et al. 1998), diketopiperazines furanosyl borate diester (Daniels et al. 2004), inorganic polyphosphates (Brown and Kornberg 2004), acetyl phosphate (Wolfe 2005), N-acylhomoserine lactones (Swift et al. 2001, Dong and Zang 2005). Target genes can synchronously be expressed among a local community and biological activities can be coordinated (Miller and Bassler 2001). This community genetic regulatory phenomenon was coined «quorum sensing». Evidence is provided that quorum-sensing signals influence cellular processes like biofilm association, responses to physicochemical stresses, organelle biogenesis, cell cycle regulation, phase variation in stationary-phase planktonic cultures, virulence factor expression, symbiosis, production of antibiotics, motility, swarming, sporulation, and conjugation.

Bacteria embedded in a biofilm show considerable variability in metabolic and reproductive activity (Fux et al. 2005). The formation of the polymer matrix may increase or decrease in dependence on biofilm evolution (Nadell et al. 2008). Biofilms may contain bacteria of different species. A curious observation on the «social life» within a biofilm was reported recently (Diggle et al. 2007). These researchers showed exploitative behaviour of some individuals. Such bacteria avoid the expenditure of producing signal molecules and of partaking in cooperative activities, and thus proliferate faster than the kin relatives.

Salmond et al. (1995) viewed the action of bacterial biofilms as an example of multi-cellularity in prokaryotic populations. The previous communications on the fascinating and diverse social life of bacteria will focus increasing attention into this field.

During the last decades a variety of factors that contribute obviously to the increased rate of infections by bacteria forming biofilms, e.g. excessive use of antibiotics, disturbances between intestinal flora and hosts immune system, failures in nutrition, damage of epithelia by intracorporeal medical devices with inappropriate coatings and improper application, failure of diagnostic procedures to recognise bacteria growing in a biofilm (Matsumoto and Takahashi 1994). Biofilms in water and its impact in human disease transmission were recently conferred by Huq et al. (2008). Kaufmann et al. (2008) considered the use of quorum-sensing blockers for therapeutic purposes. Studies with *Pseudomonas aeruginosa* show the role of quorum-sensing and neuraminidase-dependent biofilm formation for respiratory infection. Therefore, perturbation of quorum sensing by macrolides and inhibition of that enzyme may be a novel potential therapeutic perspective to prevent pneumonia (Otto 2004, Tateda et al. 2004, Raffa et al. 2005, Rice et al. 2005, Soong 2006).

#### **4. Hosts immunity and microbiota**

Generally, each microbe when entering a human tissue may initiate ruinous outcomes for the host. Physical, chemical and immune barriers created by the intestinal epithelium and the adjacent lymphatic system protect the host against such unwelcome intrusion of enteric microorganisms. Four cell lineages, including enterocytes (form a thin layer of epithelial cells that separates the gut lumen from the mucosal immune system; support specific transport functions for nutrients and give information about the external milieu), hormone-producing enteroendocrine cells, goblet cells (mucin production), and Paneth cells (production of antimicrobial peptides and proteins), compose the epithelial barrier. Intercellular junctional protein complexes such as tight junctions, adherens junctions, and desmosomes maintain the integrity of the epithelium. In addition, M cells are specialised epithelial cells belonging to the follicle-associated epithelium that wraps Peyer's patches. This cell type is involved in the communication between intraluminal microbiota and lymphatic tissue by sampling luminal antigens directly (see Fig. 1). Peyer's patches, mesenteric lymph nodes, diffusely scattered lymphocytes, cryptopatches and great numbers of IgA producing plasma cells in the intestinal lamina propria and epithelium constitute the

GALT (gut-associated lymphoid tissue). It expands along the intestinal mucosa. One should remember that almost all components of the immune system are abundant at the end of a full-term pregnancy, but effective protection of the intestinal mucosa necessitates the microbial incitement of initial bacterial settling.

It is customarily assumed that the immune system exclusively provides defence to the host against a multiplicity of bacterial threats from the environment. However, host immune system and the microbiota of its most adjacent environment establish a symbiotic, highly redundant network. It works as a two-way communication system and brings together the biodiversity of bacteria and the potentially multiple immune response of the host. In this network the host fulfils its keen rationale to keep under control the composition of the microbiota. Species-specific response to suppress or eliminate a particular microbial strain may be disabled, however, owing to the enormous strain diversity. Instead, mechanisms evolved to handle whole matching sets of bacteria with mutual structural and/or functional features. This mission has to be done for the most part by the innate immune system. It provides the first frontier of immune defence against infectious agents and on which the acquired immune system depends for activation and for the majority of its effector functions.

To live together with numerous bacteria in our gut without any harmful effects is an outstanding feat by the local epithelium and the joining lymphoid tissue. The gut microflora, a great variety of antigens brought along with food, and potential pathogen germs continuously challenge the gastrointestinal defence. Intruded microbials were held off by a plethora of sensing and effector functions to initiate proper immune responses. Intact food antigens have to be excluded, an arrangement has to be made with commensals, and pathogens have to be abolished. That is an extremely intricate issue. Obviously a fine borderline secedes the homeostatic balance upheld in the presence of the commensal microbiota and the devastating response to invading bacterial pathogens. For this balance to maintain, a fine-tuned communication between microbiota, epithelium and the underlying lymphoid cells is mandatory. This enduring dialogue is coined microbial-epithelial crosstalk. It ensures tolerance to the normal bacterial flora and prevents inflammatory derailments and their detrimental clinical outcomes (Sansonetti 2004).

Microbes present multifaceted surface structures that phagocytes should identify for immediate killing and triggering the expression of cytokines and chemokines that orchestrate host antimicrobial defence. The affiliated epithelium and the immune cells must first of all recognise present microbes, distinguish them from host cells, and discriminate pathogens from members of the indigenous microflora. Surface structures of microbes that both animals and insects are missing are the basis for this recognition. Janeway suggested this concept in 1989: «... the immune system has evolved specifically to recognize and respond to infectious microorganisms, and that this involves recognition not only of specific antigenic determinants, but also of certain characteristics or patterns common on infectious agents but absent from the host.» These structures were firstly coined PAMPs, for «pathogen-associated molecular patterns». Since such structures are also present in most non-pathogenic species, the term «microbe-associated molecular patterns» MAMPs should be preferred. The recognising molecules on host cells are termed pattern recognition receptors (PRR). In the Table 6 are surveyed PRRs, the corresponding ligands, and the microbes to be recognised by this system as gleaned in the last one decade.

PRR are protein molecules located in outer and inner cell membranes and in the cytoplasm of immune cells and cells of other tissues. A collection of soluble pattern recognising molecules, mainly but not exclusively produced by the liver, circulates in body fluids and contributes to opsonification and complement activation. Recognition is dependent on receptor-ligand interaction between pattern recognising protein molecules on host cells and MAMPs of the microorganism (Medzhitov and Janeway Jr. 1997). Toll-like receptors (TLR), the Я-glucan-receptor Dectin 1 and the mannan receptor on the outer cell membrane and the soluble intracellular proteins NOD1 and NOD2 appertain to cell-associated PRR. They are germ-line encoded and predominantly expressed on macrophages/monocytes, neutrophils, fibroblasts, B cells, dendritic cells, mucosa epithelium cells, endothelial cells, and regulatory T cells (Treg). Thirteen TLRs have been found in mammals as yet.

Although the recognition mechanism at the molecular level is well studied, the mechanisms of discrimination and confining potentially harmful bacteria and allowing indigenous microbiota to remain are far from being elucidated. That is even more amazing, since the cells make use of mutual molecular signalling routes. PRRs bound to membranes

such as TLRs act as signal-transducer. Binding of the particular MAMP on the extracellular portion of the corresponding PRR that bears a motif of leucine-rich repeats initiates dimerisation and/or complexation with other receptor molecules on the inside of the cell membrane. A set of adaptor proteins is recruited to amplify the down-stream signalling. The reaction cascade discharges into activation of transcription factors (NF- $\kappa$ B, Activator protein1), which enter the cell nucleus and lead to a distinct array of gene expression products (Fig. 2). These gene products (cytokines, interleukins) arrange innate immune responses and direct development of antigen-specific acquired immunity (Medzhitov and Janeway 1997, Hallman et al. 2001, Akira and Takeda (2004), Oda and Kitano (2006), deFRanco et al. 2007, Krishnan et al. 2007).

In this framework MyD88 acts as the primary adaptor for microbial signalling and NF- $\kappa$ B is accepted as the central mediator of the immune response. Specificity of signalling is approached by collaboration among TLRs and of TLRs with other receptors, differential utilisation of adaptor proteins, collaboration among multi-transcription factor binding sites in the promoter region of a certain gene, interaction with TLR-independent signalling routes, and so on. Negative and positive feedback loops preclude rampant inflammation that gives rise to ample tissue damage and fatal clinical outcomes. In addition to an appropriate response to a pathogen TLRs play a role in immune cell differentiation and maturation. Since TLRs are able to recognise endogenous molecules of the host (e.g. heat shock proteins, fibronectin, RNA, ATP) a function of these PRR may be anticipated in restraint of immune disorders.

Abbreviations used in the Table 6. Components of antimicrobial defence

Abbreviations

S = skin

E = eye (tear)

O = oral cavity

G = stomach

R = respiratory tract

F = female genital tract

U = urinary tract

LPS = lipopolysaccharide

SLPI = Secretory leukocyte proteinase inhibitor

SPLA<sub>2</sub> = Secretory phospholipase A<sub>2</sub>



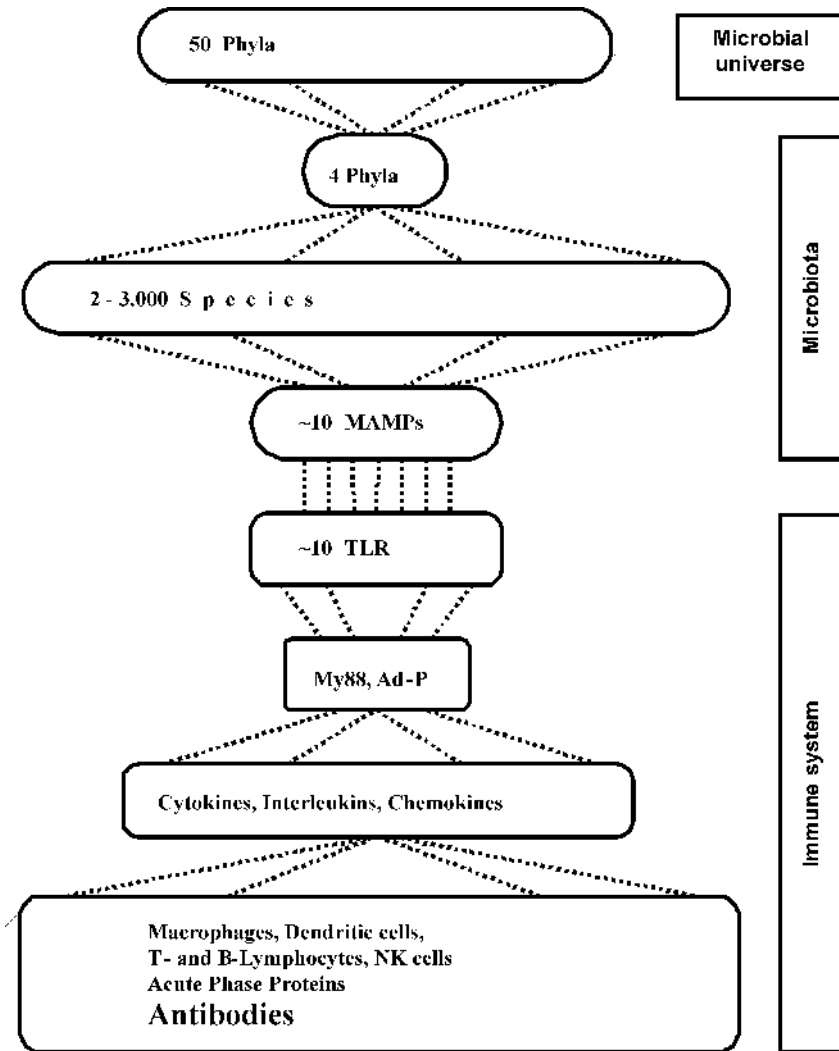


Figure 2. Bow-tie architecture of microbiota-human symbios.

Table 6 — Non-cellular components of antimicrobial defence

Component	S	E	O	G	I	R	F	U	Target of antimicrobial and protective activities
<b>Peptide, Protein</b>									
Anionic peptide						+			<i>E. coli</i> , <i>Staph. aureus</i> , <i>Ps. aerug.</i> , <i>K. pneumoniae</i>
BPI			+		+	+			Gram-negative species, neutralises LPS
Cathelicin	+		+		+	+	+		Synergic activity with lysozyme against many bacteria, neutralises LPS, attracts neutrophils, monocytes and T-lymphocytes (CD4)
Coeruloplasmin		+							Binding of copper
Collectins						+			Surfactant proteins; <i>Klebsiella pneumoniae</i>
Complement			+						Microbial lysis and opsonisation,
$\alpha$ -Defensin-5					+		+		<i>Cand. albicans</i> , <i>E. coli</i> , <i>Staph. aureus</i> , <i>Lis. monocytogenes</i> , <i>Bac. cereus</i>
$\beta$ -Defensin-1	+	+	+	+	+	+	+	+	Gram-pos./neg. species, <i>Cand. albicans</i>
$\beta$ -Defensin-4				+		+	+		<i>E. coli</i> , <i>Staph. aureus</i> , <i>Ps. aeruginosa</i> , <i>K. pneumoniae</i> , attracts monocytes
Calprotectin			+				+		<i>E. coli</i> , <i>Staph. aureus</i> , <i>Klebsiella</i> , <i>Cand. alb.</i>
Dermeidin	+								<i>E. coli</i> , <i>Staph. aureus</i> , <i>Cand. alb.</i> , <i>Ent. faecalis</i>
Elafin	+					+	+		<i>Staph. aureus</i> , <i>Ps. aeruginosa</i> , neutralises LPS, inhibits neutrophil elastase
Fibronectin		+							Facilitates phagocytosis
Glandulin						+			Gram-neg. species
Hemocidins							+		<i>E. coli</i> , <i>Salmonella</i> , <i>Ent. faecalis</i>
Hepcidin		+						+	<i>Candida albicans</i> , <i>E. coli</i> , <i>Staph. epidermidis</i>
Histatins			+						Yeasts, suppression of cytokine induction and plaque formation, attracts monocytes

Component	S	E	O	G	I	R	F	U	Target of antimicrobial and protective activities
IgA, IgM					+				Prevent microbial adhesion, activate complement,
Lactoferrin		+	+		+	+	+		Fe-binding, activates NK cells, Strep. mutans, E. coli, Vibrio cholerae, Bac. subtilis
Lactoperoxidase		+	+		+	+			Redox catalyst, Staph. aureus, streptococci, H. influenzae, E. coli, Prevotella, Pseudomonas
Lysozyme	+	+	+		+	+	+		Produced by staphylococci, agglutinates Gram-pos. bacteria
Mucin-7		+							N-terminal cleaved peptides antimicrobial active
Psoriasisin	+								E. coli, chemokines
Reg IIIy					+				List. monocytogenes and innocua, Ent. faecalis
Sialin		+							Binds microbes
SLPI		+	+		+	+	+		E.coli, Ps. aerugin., Staph. aureus, inhibits LPS
SPLA <sub>2</sub>	+				+	+			Gram-positive species
Statherin			+			+			Pseudomonas aeruginosa
Transferrin			+						Fe-binding
<b>Other</b>									
Acid pH	+		+				+		Acids produced by host (G) or Bacteria (S,F)
Bile acids					+				Predominantly Gram-positive species
CO <sub>2</sub>	+								Produced by bacteria, inhibits dermatophytes
Shedding	+		+		+	+	+	+	Shed cells carry microbes
Flow		+	+				+	+	Microbes displaced from surfaces

Compiled from Beisswenger and Bals 2005, Liiivin-Le Moal and Servin (2006), McAuley et al. 2007, Wilson 2008.

This complex immune system and the coexistence with the microbiota pose numerous questions, such as: Why there is no permanent inflammation on the mucosal/epithelial surfaces («commensal paradox»)? There are counteracting mechanisms that bolster or hinder microbial diversity: Why in vertebrates the microbial diversity is greater than in invertebrates, although vertebrates possess a stronger immune system, which may damp diversity? What consequences have bacterial life and sympatry in micro-niches, resource competition, promoted gene flow through random mating, and competitive exclusion on species diversity? How robustness, fragility, resource limitation and performance are involved in the symbiotic association of microbiota and hosts immunity? What are the consequences of systemic or local disturbances? Did the vertebrate immune system evolve under selection pressure to maintain a diverse and stable microbiota? Systems biological methodology gains in importance to disentangle the possible logic behind the network and is beginning to answer such questions (Csete and Doyle 2004, Seymour 2005, Kitano and Oda 2006, Kitano 2007).

In Seymour's model the host possesses a number of distinct niches, which harbour generalist and specialist species with varying rates of growth and reproduction. A low rate of mutation between closely related species and some migration along routes linking niches are permitted. The host acts like a predator in an ecological community, but one with adaptable prey preferences, and uses its immune system to retard the growth rate of the microbiota. The diversity between niches increases with the strength of immunity. In the absence of systematic disturbance a reasonable strong immune response yields highly diverse communities dominated by several distinct species of specialists. Stochastic disturbances such as transitory compromises of immune response constrained diversity of microbiota. Disturbances having a preference to niches yield competitive dominance by the generalist members. Seymour supposes that the high diversity with the relatively even abundance of most species could be related with the commensal paradox: inflammation demands «above threshold» signals to trigger the local cytokine network.

A number of investigators attempted to unveil the design principle and the structural topology of biological networks in relation to their function by use of mathematical models and computer simulation. For it, complex biological networks were deconstructed into conceptually

simple entities (modules) that are made up of many species of interacting molecules (Hartwell et al. 1999, Papin et al. 2004). These networks have topologies that are principally different to those in simple randomly linked networks. The choice of bow-tie as a structural building unit proved to be a concise and smart option for constructing metabolic and signal transduction networks (Zhao et al. 2006, Kitano 2007).

One of the fundamental characteristics of biological systems is robustness. It is a «property that allows a system to maintain its function against internal and external perturbations» (Kitano and Oda 2006, Oda and Kitano 2006). Kitano and co-workers propose that the intracellular signal transduction pathways and the intercellular signal processes of both the innate and acquired immune system consist of a modularised tandem bow-tie pattern (Fig. 2). The MyD88-adaptor-protein complex and NF- $\kappa$ B act as bottlenecks in this topology. This main bow-tie network has extensive collateral pathways with multiple positive/negative system controls and crosstalk regulations that may modulate downstream performance. Such an architecture is characterised by a great «fan-in» of signals recognised by PRR, and a great «fan-out» of cytokines, chemokines, and interleukins. In the consequence, the response of the signalling network to a specific set of stimuli depends on the activation levels and temporal dynamics of molecules in this theoretical hyperspace.

That modularised bow-tie design leads to inherent trade-offs among robustness, fragility, resource limitation, and performance. A modular signalling network that is nested by many relatively independent and robust bow-tie units, will give more advantages in generating coordinated response to various stimuli from environment. Both symbiotic partners — host's immune system and a diverse microbiota — coevolved in a symbiotic relationship to optimise robustness against pathogen challenges and nutrient perturbations. This concept is in harmony with «conclusions from a number of studies that these structures result from universal and fundamental organising principles for efficiency and robustness, rather than frozen accidents of evolution» (Zhao et al. 2006). There is a further point of benefit for the host: the enduring homeostasis of microbiota might be exceptionally important against autoimmune disorders and other immune derailments which are predicated on the intrinsic tendency of the immune system toward hyperactivity.

## **5. How to improve a tilted host-microbiota partnership?**

Factors accompanying our current life such as over- and malnutrition, physical inactivity, excessive use of tobacco, alcohol, drugs and medicine, UV-irradiation, incorporation/inhalation of pesticides, toxic gases and heavy metals and growing-up in a sanitised world disturb the immune balance and the host-microbiota partnership with the consequence of a huge increase of chronic inflammatory diseases, e.g. atherosclerosis, inflammatory bowel diseases, diabetes, asthma, rheumatism, neurodermatitis, psoriasis, adipositas, and cancer. The anticipation to improve the host-microbiota partnership, immunity and constitutional performance by food additives is based on four aspects: i) using the recent advance in understanding of the dynamic interplay between host immune system and microbiota, ii) recognising the established history of using health-promoting extracts of fungi, algae and herbs in traditional oriental medicine and in food supplementation, iii) assuring usefulness and safety of food ingredients for disease prevention and treatment, and iv) the bioactive molecules to come into question can be given to the diet, without the prerequisite to cope with phase-I/II/III clinical trials. Orally administered agent's come into direct contact with the largest immune tissue GALT and its microenvironment in the intestine, which may have an explicit effect on the microbiota and the ensuing final immune response.

There may be three options to accomplish such an entitlement:

- i. Immunomodulating option: Uptake of immune modulating ingredients to prevent inflammatory lapse or trace back a derailed immune system into balance.
- ii. Prebiotic option: Uptake of non-digestible substrates to feed health-promoting members of indigenous microbiota, e.g. *Bifidus* spp.
- iii. Probiotic option: Uptake of health-promoting bacteria such as *Lactobacillus* spp. and *Bifidus* spp.

Compounds that can interact with the immune system to upregulate or downregulate the host response are termed immunomodulator, or synonymously immunostimulant, immunopotentiator, immune enhancer, or biological response modifier. The concept of immunomodulation is to induce the same response as that taking place during the initial phase in a common infection without producing sustained dangerous inflammation or harsh side-effects. A particular immune sub-function

has to be increased or suppressed in such a way as to enhance or complement a desired response. Such a proceeding is promising since i) it strengthens hosts own defence mechanisms, and ii) it excludes the use of species-specific antibiotics.

The inflammatory reaction mostly attains a fine balance that eliminates pathogen microbes and repairs damaged tissues. Strictly regional low-grade inflammations may occur now and then and should be understood as a sub-clinical everyday occurrence. However, the fine-tuned response can go awry and a persistent inflammation arises, often lacking a recognisable infection. Cytokines, interleukins and chemokines are local messenger molecules that mediate information between cells. These mediators have a great impact on cell division, differentiation, growth and immunity. It makes sense to envisage the cytokines as constituting a network of inherent agonist and antagonist functions, e.g. pro-inflammatory and anti-inflammatory reactivity, or growth-promotion and suppression (Balkwill 2000). At an inflammatory site pro- as well as anti-inflammatory mediators are consecutively up-regulated followed by down-regulation. In states of chronic inflammation the equilibrium is skewed towards the inflammatory arm. The outbalanced cytokine network induces inflammatory cell recruitment of the tissue(s) concerned, vitiation of cell functions, and tissue-matrix injury.

Many immunomodulating compounds are polysaccharides or polysaccharide-protein complexes, such as the zwitterionic polysaccharides, mannans, protein bound polysaccharides PSK and PSP, and hyaluronan. One of the best studied is the group of beta-glucans. These polysaccharides are widely distributed in the biological matter in, for example, yeast, fungi (excluding zygomycetes), bacteria, and lower and higher plants. They occur as a primary constituent in the cell wall of fungi and bacteria. (1→3)-beta-glycosidic bonds link the glucose units in the backbone. Side chains are formed as (1→4)-linkages or as (1→6)-linkages. (1→3),(1→6)-beta-D-Glucans are non-toxic, non-immunogenic, and non-allergenic. beta-Glucans react with PRRs (e.g. Dectin1) on monocyte/macrophages, natural killer cells, neutrophils, dendritic cells, vascular endothelial cells, keratinocytes and fibroblasts. The macrophage has been identified as the master cell in the first line of defence against most infections as well as in mediating the response of the innate and acquired immunity. This cell type can be activated as the result of a common infection process or by products of fungi or bacteria.

Binding of beta-glucan to macrophages initiates complexation of the beta-glucan receptor with TLR2 and TLR6 and activation of signal transduction pathways involving NF- $\kappa$ B-like transcription factors (Luhm et al. 2006). It alerts the innate immune system and primes it to respond immediately and properly to infections. The anti-inflammatory efficacy has been shown in-vitro and in-vivo (Gerber et al. 2005, Lull et al. 2005, Dillon et al. 2006, Jung et al. 2007). As an example, the Figure 3 shows the results of a study on thoroughbred race-horses performed in springtime. In that period regular hair coat replacement, environmental changes, intensification of training loads, transportation, heavy physical exertion and competitive races, and frequent contacts to other animals bring about an enduring metabolic, immune and psychological stress. The animals respond with elevation of acute phase proteins in blood (fibrinogen, haptoglobin, SAA), which are accepted markers of inflammation. These changes are ameliorated by the immune modulating activity of yeast beta-glucan.

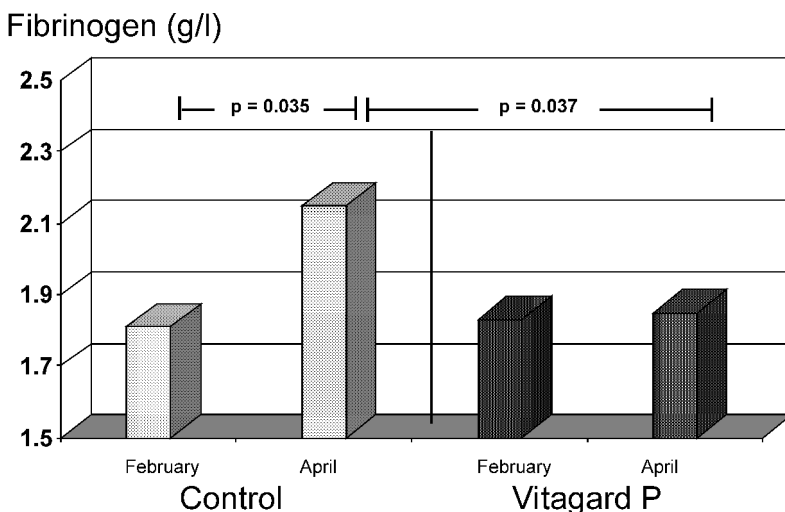
In 1995 Gibson and Roberfroid inaugurated the prebiotic concept as part of the functional food strategy. A prebiotic should fulfil the following criteria: inertness against hydrolytic cleavage and absorption in the upper part of the gut, acting as selective substrate for one or few health-promoting colonic bacterial species, and constraining pathogens via keeping up growth and/or activity of health-promoting species. Gibson et al. (2004) suggested a definition of prebiotics taking into account nutritional, biochemical, physiological and microbial areas that may benefit from a selective targeting of particular micro-organisms: «A prebiotic is a selectively fermented ingredient that allows specific changes, both in the composition and/or activity in the gastrointestinal microflora that confers benefits upon host well-being and health». At present the only compounds with prebiotic functions are carbohydrates. The genera commonly targeted are *Bifidobacterium* and *Lactobacillus*, the growth and activity of which should be increased.

Human breast milk may be seen as the prebiotic per se. The bifidus factor — a glycoprotein — is the specific entity responsible for the dominance of bifidus bacteria in the colon of newborns fed breast milk. A range of oligosaccharides has been proven in experimental studies to exert prebiotic activity, e.g. oligosaccharides of fructose, galactose, mannose, xylose, and (1→6)-linked glucose, lactulose, isomaltoligosaccharide, palatinose, and tagatose. However, in food manufacturing



around the globe inulin, fructooligosaccharides, and galactooligosaccharides are the dominating types. There are attempts to develop a «second generation» of prebiotics with enhanced activity and desirable attributes such as fine control of microflora modulation, specific inhibition of pathogen adhesion, varying viscosity, lack of side-effects, and persistence to distal regions of the colon (Rastall and Gibson 2002).

The term «probiotic» was coined by Lilly and Stillwell (1965) in contrast to antibiotic to describe substances secreted by one microorganism, which stimulates the growth of another. Following Havenaar and Huis Inrt Veld (1992) and Schrezenmeir and de Vrese M (2001) a probiotic is defined as «A preparation of or a product containing viable, defined microorganisms in sufficient numbers, which alter the microflora (by implantation or colonization) in a compartment of the host and by that exert beneficial health effects in this host». This definition is applicable independent of the probiotic site of action and the route of administration. A synbiotic — in the strongest sense of the term — is a blend of a prebiotic and a probiotic «... in which



*Figure 3: Yeast (1?3),(1?6)-beta-D-glucan (Vitagard P) attenuates the springtime stress-associated increase of the acute phase protein fibrinogen in blood serum of race-horses.*

the prebiotic compound selectively favours the probiotic compound» (Schrezenmeir and de Vrese M, 2001).

The beneficial effects of probiotics and prebiotics on human health are critically surveyed by Hanske and Blaut (2006). The probiotics aimed for human use must fulfil a number of criteria: preferentially from human origin, genetically stable, non-pathogenic and safe, insensitive to gastric acidity and bile salt, and to remain viable during technological processing. The comprehension of the mechanisms underlying the health promoting claim(s) should be verified by a scientifically established methodology to improve the credibility of the prebiotic and probiotic conception. Utilisation of advanced molecular methods for monitoring variations in the particular microbiota are compulsory.

## References

*Achtman M, Wagner M* (2008) Microbial diversity and the genetic nature of microbial species. *Nature Rev. Microbiol.* 6:431-440.

*Akira S, Takeda K* (2004) Toll-like receptor signalling. *Nat Rev Immunol* 4:499—511.

*Bäckhed F, Manchester JK, Semenkovich CF, Gordon JI* (2007) Mechanisms underlying the resistance to diet-induced obesity in germ-free mice. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* 104:979-984.

*Balkwill F* (Ed.) (2000) *The Cytokine Network*. Oxford University Press, Oxford, UK.

*Beisswenger C, Bals R* (2005) Functions of antimicrobial peptides in host defense and immunity. *Curr. Protein Pept. Sci.* 6:255-264.

*Branda SS, Vik S, Friedman L, Kolter R* (2005) Biofilms: the matrix revisited. *Trends Microbiol.* 13:20-26.

*Braun-Fahrlander C, Riedler J, Herz U, Eder W, Waser M, Grize L, Maisch S, Carr D, Gerlach F, Bufe A, Lauener RP, Schierl R, Renz H, Mutius E von*, Allergy and Endotoxin Study Team (2002) Environmental exposure to endotoxin and its relation to asthma in school-age children. *New Engl. J. Med.* 347:869-877.

*Braunstein J, Qiao L, Autschbach F, Schürmann G, Meuer S* (1997) T cells of the human intestinal lamina propria are high producers of interleukin-10. *Gut* 41:215-220.

*Brown, MR, Kornberg A* (2004) Inorganic polyphosphate in the origin and survival of species. *Proc. Natl. Acad. Sci. U S A.* 101:16085-16087.

*Cash HL, Whitham CV, Behrendt CL, Hooper LV* (2006) Symbiotic bacteria direct expression of an intestinal bactericidal lectin. *Science* 313:1126-1130.

*Chambers HF* (2001) The changing epidemiology of *Staphylococcus aureus*? *Emerg. Infect. Dis.* 7:178-182.

*Cole D, Todd L, Wing S* (2000) Concentrated swine feeding operations and public health: A review of occupational and community health effects. *Environm. Health Perspect.* 108:685-699.

*Cossart P, Boquet P, Normark S, Rappuoli R* (1996) Cellular microbiology emerging. *Science* 271:315-316.

*Costabile A, Klinder A, Fava F, Napolitano A, Fogliano V, Lenard C, Gibson GR, Tuohy KM* (2008) Whole-grain wheat breakfast cereal has a prebiotic effect on the human gut microbiota: a double-blind, placebo-controlled, crossover study. *Brit. J. Nutr.* 99:110-120.

*Costerton JW, Lewandowski Z, Caldwell DE, Korber DR, Lappin-Scott HM* (1995) Microbial biofilms. *Annual Rev. Microbiol.* 49:711-745.

*Csete M, Doyle J* (2004) Bow ties, metabolism and disease. *Trends Biotechnol.* 22:446-450.

*Daniels R, Vanderleyden, Michiels J* (2004) Quorum sensing and swarming migration in bacteria. *FEMS Microbiol. Rev.* 28:261-289.

*Darwin C.* (1859) *On the Origin of Species by Means of Natural Selection.* J. Murray. London.

*De Backer E, Verhelst R, Verstraelen H, Alqumber MA, Burton JP, Tagg JR, Temmerman M, Vanechoutte M* (2007) Quantitative determination by real-time PCR of four vaginal *Lactobacillus* species, *Gardnerella vaginalis* and *Atopobium vaginae* indicates an inverse relationship between *L. gasseri* and *L. iners*. *BMC Biol.* 7:115.

*Dethlefsen L, McFall-Ngai M, Relman DA* (2007) An ecological and evolutionary perspective on human-microbe mutualism and disease. *Nature*.449(7164):811-818.

*deFranco AL, Locksley RM, Robertson M* (2007) *Immunity: The Immune Response in Infectious and Inflammatory Disease.* New Science Press Ltd., London, UK.

*Diggle SP, Griffin AS, Campbell GS, West SA* (2007) Cooperation and conflict in quorum-sensing bacterial populations. *Nature* 450(7168):411-414.

*Dillon S, Agrawal S, Banerjee K, Letterio J, Denning TL, Oswald-Richter K, Kaspro-wicz DJ, Kellar K, Pare J, van Dyke T, Ziegler S, Unutmaz D, Pulendran B* (2006) Yeast zymosan, a stimulus for TLR2 and dectin-1, induces regulatory antigen-presenting cells and immunological tolerance. *J. Clin. Invest.* 116:916-928.

*Dong YH, Zhang LH* (2005) Quorum sensing and quorum-quenching enzymes. *J. Microbiol.* 43 Spec. No:101-109.

*Doolittle RF, Feng DF, Tsang S, Cho G, Little E* (1996) Determining divergence times of the major kingdoms of living organisms with a protein clock. *Science* 271(5248):470-477.

*Duddington CL* (1961) *Micro-Organisms as Allies.* Faber and Faber, London, UK.

*Dunny GM, Winans SC* (Eds.) (1999) *Cell Signalling in Bacteria.* Am. Soc. Microbiol. Press, Washington D.C., USA.

*Eckburg PB, Bik EM, Bernstein CN, Purdom E, Dethlefsen L, Sargent M, Gill SR, Nelson KE, Relman DA* (2005) Diversity of the human intestinal microbial flora. *Science* 308:1635-1638.

*Ehrlich GD, Hu FZ, Shen K, Stoodley P, Post JC* (2005) Bacterial plurality as a general mechanism driving persistence in chronic infections. *Clin. Orthop. Rel. Res.* 437:20-24.

*Ehrlich GD, Hiller NL, Hu FZ* (2008) What makes pathogens pathogenic. *Genome Biol.* 9:225.

*Fleischmann RD, Adams MD, White O, Clayton RA, Kirkness EF, Kerlavage AR, Bult CJ, Tomb JF, Dougherty BA, Merrick JM et al.* (1995) Whole-genome random sequencing and assembly of *Haemophilus influenzae* Rd. *Science* 269:496-512.

*Fuqua WC, Winans SC, Greenberg EP* (1994) Quorum sensing in bacteria: the LuxR-LuxI family of cell density-responsive transcriptional regulators. *J. Bacteriol.* 176:269—275.

*Fux CA, Costerton JW, Stewart PS, Stoodley P* (2005) Survival strategies of infectious biofilms. *Trends Microbiol.* 13:34-40.

*Gandara A, Mota LC, Flores C, Perez HR, Green CF, Gibbs SG* (2006) Isolation of *Staphylococcus aureus* and antibiotic-resistant *Staphylococcus aureus* from residential indoor bioaerosols. *Environm. Health Perspect.* 114:1859-1864.

*Gao Z, Tseng C-H, Pei Z, Blaser M* (2007) Molecular analysis of human forearm superficial skin bacterial biota. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 104:2927-2932.

*Gerber G, Fleischer L-G, Lippert E, Westphal G* (2005) (1<sup>3</sup>), (1<sup>6</sup>)-beta-D-glucan: Effects on blood parameters and performance of chickens. In: *Vitamine und Zusatzstoffe in der Ernährung von Mensch und Tier.* 10. Symposium, 28.-29. September 2005, Jena/Thüringen (Schubert R, Flachowsky G, Jahreis G, Bitsch R, Hrsg). pp 144—151. FSU Jena und FAL Braunschweig, Germany.

*Gibbons RJ, Fitzgerald RJ* (1969) Dextran-induced agglutination of *Streptococcus mutans*, and its potential role in the formation of microbial dental plaques. *J. Bacteriol.* 98:341-346.

*Gibbs SG, Green CF, Tarwater PM, Mota LC, Mena KD, Scarpino PV* (2006) Isolation of antibiotic resistant bacteria from the air plume downwind of a swine confined or concentrated animal feeding operation. *Environm. Health Perspect.* 114:1032-1037.

*Gibson GR, Probert HM, Loo J, Rastall RA, Roberfroid MB* (2004): Dietary modulation of the human colonic microbiota: updating the concept of prebiotics. *Nutr. Res. Rev.* 17:259-275.

*Gibson G, Roberfroid MBR* (1995): Dietary modulation of the human colonic microbiota — introducing the concept of prebiotics. *J. Nutr.* 125:1401—1412.

*Gorak EJ, Yamada SM, Brown JD* (1999) Community-acquired methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* in hospitalized adults and children without known risk factors. *Clin. Infect. Dis.* 29:797-800.

*Gordon JI, Hooper LV, McNvin MS, Wong M, Bry L.* (1997) Epithelial cell growth and differentiation. III. Promoting diversity in the intestine: conversations between the microflora, epithelium, and diffuse GALT. *Am. J. Physiol.* 273:G565-G570.

*Guggenheim B, Schroeder HE* (1967) Biochemical and morphological aspects of extracellular polysaccharides produced by cariogenic streptococci. *Helv. Odont. Acta* 11:131-152.

*Gutzeit E* (1918) *Die Bakterien im Hauhalt der Natur und des Menschen.* 2. Aufl., Verlag Teubner, Leipzig und Berlin, Germany.

*Hallman M, Rämets M, Ezekowitz RA* (2001) Toll-like receptors as sensors of pathogens. *Pediatr. Res.* 50:315-321.

*Hamscher G, Pawelzick HT, Sczesny S, Nau H, Hartung J* (2003) Antibiotics in dust originating from pig-fattening farm: a new source of health hazard for farmers. *Environm. Health Perspect.* 111:1590-1594

*Handelsman J, Robinson CJ, Raffa KF* (2005) Microbial communities in lepidopteran guts: From models to metagenomics. In: *The Influence of Cooperative Bacteria on Animal Host Biology* (McFall-Ngai MJ, Henderson B, Ruby E., eds.) *Adv. Mol. Cell. Microbiol.* 10:143-168.

*Hanske L, Blaut M* (2006) Mechanisms underlying the effects of probiotics. *Akt. Ernähr. Med.* 31:317-321.

*Hardman AM, Stewart GS, Williams P* (1998) Quorum sensing and the cell-cell communication dependent regulation of gene expression in pathogenic and non-pathogenic bacteria. *Antonie Van Leeuwenhoek.* 74:199-210.

*Hartwell LH, Hopfield JJ, Leibler S, Murray AW* (1999) From molecular to modular cell biology. *Nature* 402(6761 Suppl):C47-C52.

*Hausmann M, Kiessling S, Mestermann S, Webb G, Spöttl T, Andus T, Schölmerich J, Herfarth H, Ray K, Falk W, Rogler G* (2002) Toll-like receptors 2 and 4 are up-regulated during intestinal inflammation. *Gastroenterol.* 122:1987-2000.

*Havenaar R, Huis in't Veld J* (1992) Probiotics: a General view: In: *The Lactic Acid Bacteria.* Vol. I: *The Lactic Acid Bacteria in Health and Disease.* Wood EJB (ed.) Elsevier Applied Science, pp151-170.

*Heederik D, Sigsgard T, Thorne PS, Kline JN, Avery R, Bønløkke JH, Chrischilles EA, Dosman JA, Duchaine C, Kirkhorn SR, Kulhankova K, Merchant JA* (2007) Health effects of airborne exposures from concentrated animal feeding operations. *Environm. Health Perspect.* 115:298-302.

*Henderson B, Wilson M, McNab R, Lax AJ* (1999) *Cellular Microbiology: Bacterial-Host Interactions in Health and Disease.* John Wiley & Sons, Chicester, UK.

*Heywood, V.H. (ed.).* 1995. *Global Biodiversity Assessment.* United Nations Environment Programme. Cambridge University Press, Cambridge, USA.

*Higgins SC, Lavelle EC, McCann C, Keogh B, McNeela E, Byrne P, O’Gorman B, Jarnicki A, McGuirk P, Mills KH* (2003) Toll-like receptor 4-mediated innate IL-10 activates antigen-specific regulatory T cells and confers resistance to *Bordetella pertussis* by inhibiting inflammatory pathology. *J. Immunol.* 171:3119-3127.

*Hickman CS* (2005) How bacteria contributed to the evolution of multicellular animals. In: *The Influence of Cooperative Bacteria on Animal Host Biology.* *Adv. Mol. Cell. Microbiol.* 10:3-33.

*Huq A, Whitehouse CA, Grim CJ, Alam M, Colwell RR* (2008) Biofilms in water, its role and impact in human disease transmission. *Curr. Opin. Biotechnol.* In press.

*Huttunen K, Hyvärinen A, Nevalainen A, Komulainen H, Hirvonen M-R* (2003) Production of proinflammatory mediators by indoor air bacteria and fungal spores in mouse and human cell lines. *Environm. Health Perspect.* 111:85-92.

*Il’ina, T. S., Romanova. Iu. M., Gintsburg, A. L.* (2004) Biofilms as a mode of existence of bacteria in external environment and host body: the phenomenon, genetic control, and regulation systems of development. *Genetika.* 40:1445-1456 (Russian).

*Jin MS, Lee JO* (2008) Structures of TLR-ligand complexes. *Curr. Opin. Immunol.* [Epub ahead of print].

*Jung KH, Kim MJ, Ha E, Kim HK, Kim YO, Kang SA, Chung JH, Yim SV* (2007) The suppressive effect of beta-glucan on the production of tumor necrosis factor-alpha in BV2 microglial cells. *Biosci. Biotechnol. Biochem.* 71:1360-1364.

*Kaufmann GF, Park J, Janda KD* (2008) Bacterial quorum sensing: a new target for anti-infective immunotherapy. *Expert. Opin. Biol. Ther.* 8:719-724.

*Kitano H, Oda K* (2006) Robustness trade-offs and host microbial symbiosis in the immune system. *Mol. Systems Biol.* doi:10.1038/msb4100039.

*Kitano H* (2007) Towards a theory of biological robustness. *Mol. Systems Biol.* 3 doi:10.1038/msb4100179.

*Krishnan J, Selvarajoo K, Tsuchiya M, Lee G, Choi S* (2007) Toll-like receptor signal transduction. *Exp. Mol. Med.* 39:421-438.

*Lewkowicz P, Lewkowicz N, Sasiak A, Tchórzewski H* (2006) Lipopolysaccharide-activated CD4+CD25+ T regulatory cells inhibit neutrophil function and promote their apoptosis and death. *J. Immunol.* 177:7155-7163.

*Ley RE, Bäckhed F, Turnbaugh P, Lozupone CA, Knight RD, Gordon JI* (2005) Obesity alters gut microbial ecology. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 102:11070-11075.

*Ley RE, Peterson DA, Gordon JI* (2006) Ecological and evolutionary forces shaping microbial diversity in the human intestine. *Cell* 124:837-848.

*Liévin-Le Moal V, Servin AL* (2006) The front line of enteric host defense against unwelcome intrusion of harmful microorganisms: mucins, antimicrobial peptides, and microbiota. *Clin. Microbiol. Rev.* 19:315-337.

*Lilly DM, Stillwell RH* (1965) Probiotics: Growth-promoting factors produced by microorganisms. *Science* 147:747-748.

Luhm J, Langenkamp U, Hensel J, Frohn C, Brand JM, Hennig H, Rink L, Koritke P, Wittkopf N, Williams DL, Mueller A (2006) Beta-(1g3)-D-glucan modulates DNA binding of nuclear factors kappaB, AT and IL-6 leading to an anti-inflammatory shift of the IL-1beta/IL-1 receptor antagonist ratio. *BMC Immunol.* 7:5.

Lull C, Wichers HJ, Savelkoul HF (2005) Antiinflammatory and immunomodulating properties of fungal metabolites. *Mediators Inflamm.* 2005(2):63-80. Doi: 10.1155/MI.2005.63

Mandell L, Moran AP, Cocchiarella A, Houghton J, Taylor N, Fox JG, Wang TC, Kurt-Jones EA (2004) Intact gram-negative *Helicobacter pylori*, *Helicobacter felis*, and *Helicobacter hepaticus* bacteria activate innate immunity via toll-like receptor 2 but not toll-like receptor 4. *Infect. Immun.* 72:6446-6454.

Matsumoto T, Takahashi K (1994) Physiologic factor in intractable bacterial infections *Nippon Rinsho.* 52:315-321. (Article in Japanese).

Mazmanian SK, Liu CH, Tzianabos AO, Kasper DL (2005) An immunomodulatory molecule of symbiotic bacteria directs maturation of the host immune system. *Cell* 122:107-118.

Mazmanian SK, Kasper DL (2006) The love-hate relationship between bacterial polysaccharides and the host immune system. *Nature Rev. Immunol.* 6:849-858.

McAuley JL, Linden SK, Png CW, King RM, Pennington HL, Gendler SJ, Florin TH, Hill GR, Korolik V, McGuckin MA (2007) MUC1 cell surface mucin is a critical element of the mucosal barrier to infection. *J. Clin. Invest.* 117:2313-2324.

McFall-Ngai M (2005) The interface of microbiology and immunology: a comparative analysis of the animal kingdom. In: *The Influence of Cooperative Bacteria on Animal Host Biology.* *Adv. Mol. Cell. Microbiol.* 10:35-56.

McVean G, Spencer CC, Chaix R (2005) Perspectives on human genetic variation from the HapMap Project. *PLoS Genet.* 1(4):e54.

Medzhitov R, Janeway CA Jr. (1997) Innate immunity: the virtues of a nonclonal system of recognition. *Cell* 91:295-298.

Melmed G, Thomas LS, Lee N, Tesfay SY, Lukasek K, Michelsen KS, Zhou Y, Hu B, Arditi M, Abreu MT (2003) Human intestinal epithelial cells are broadly unresponsive to Toll-like receptor 2-dependent bacterial ligands: implications for host-microbial interactions in the gut. *J. Immunol.* 170:1406-1415.

Miller MB, Bassler BL (2001) Quorum sensing in bacteria. *Annu. Rev. Microbiol.* 165-199.

Moore WE, Holdeman LV (1974) Human fecal flora: the normal flora of 20 Japanese-Hawaiians. *Appl. Microbiol.* 27:961-979.

Moreau MC, Raibaud P, Muller MC (1982) Relationship between the development of the intestinal IgA immune system and the establishment of microbial flora in the digestive tract of young holoxenic mice. *Ann. Immunol. (Paris).* 133:29-39 (in French).

*Nadell CD, Xavier JB, Levin SA, Foster KR* (2008) The evolution of quorum sensing in bacterial biofilms. *PLoS* 6(1):e14.

*Nanthakumar NN, Dai D, Newburg DS, Walker WA* (2003) The role of indigenous microflora in the development of murine intestinal fucosyl- and sialyltransferases. *FASEB J.* 17:44-46.

*Norberg J, Swaney DP, Dushoff J, Lin J, Casagrandi R, Levin SA* (2001) Phenotypic diversity and ecosystem functioning in changing environments: A theoretical framework. *Proc. Natl. Acad. Sci USA* 98:11376-11381.

*Oda K, Kitano H* (2006) A comprehensive map of the toll-like receptor signaling network. *Mol. Syst. Biol.* 2. doi: 10.1038/msb4100057.

*Otto M* (2004) Quorum-sensing control in Staphylococci — a target for antimicrobial drug therapy. *FEMS Microbiol. Lett.* 34:577-588.

*Palmer J, Flint S, Brooks J* (2007) Bacterial cell attachment, the beginning of a biofilm. *J. Ind. Microbiol. Biotechnol.* 34:577-588.

*Papin JA, Reed JL, Palsson BO* (2004) Hierarchical thinking in network biology: the unbiased modularization of biochemical networks. *Trends Biochem. Sci.* 29:641-647.

*Paster BJ, Boches SK, Galvin JL, Ericson RE, Lau CN, Levanos VA, Sahasrabudhe A, Dewhirst FE* (2001) Bacterial diversity in human subgingival plaque. *J. Bacteriol.* 183:3770-3783.

*Pei Z, Bini EJ, Yang L, Zhou M, Francois F, Blaser MJ* (2004) Bacterial biota in the human distal esophagus. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 101:4250-4255.

*Platz S, Scherer M, Unshelm J* (1995) Untersuchungen zur Belastung von Mastschweinen sowie der Umgebung von Mastschweinställen durch atembaren Feinstaub, stallspezifische Bakterien und Ammoniak. *Zentralbl. Hyg. Umweltmed.* 196:399-415.

*Probert HM, Gibson GR* (2002) Bacterial biofilms in the human gastrointestinal tract. *Curr. Issues Intest. Microbiol.* 3:23-27.

*Raffa RB, Iannuzzo JR, Levine DR, Saeid KK, Schwartz RC, Sucic NT, Terleckyj OD, Young JM* (2005) Bacterial communication («quorum sensing») via ligands and receptors: a novel pharmacologic target for the design of antibiotic drugs. *J. Pharmacol. Exp. Ther.* 312:417-423.

*Rakoff-Nahoum S, Paglino J, Eslami-Varzaneh F, Edberg S, Medzhitov R* (2004) Recognition of commensal microflora by toll-like receptors is required for intestinal homeostasis. *Cell* 118:229-241.

*Rappuoli R* (2006) Shaping of the bacterial world by human intervention. In: *The Influence of Cooperative Bacteria on Animal Host Biology. Adv. Mol. Cell. Microbiol.* 10:399-408.

*Rastall RA, Gibson GR* (2002): Prebiotic oligosaccharides: Evaluation of biological activities and potential future developments. In: *Probiotics and Prebiotics: Where Are We Going?* pp107—148. Tannock G. W. (ed.), Caister Academic Press. Wymondham/Norfolk, UK.



- Reid G.* (2004) When microbe meets human. *Clin. Infect. Dis.* 39:827-830.
- Rice SA, McDougald D, Kumar N, Kjelleberg S* (2005) The use of quorum-sensing blockers as therapeutic agents for the control of biofilm-associated infections. *Curr. Opin. Invest. Drugs* 6:178-184.
- Rieger MA* (2001) Biologische Belastungen der Beschäftigten in der Landwirtschaft. Thesis Bergische Universität Gesamthochschule Wuppertal, Germany.
- Rosenberg E* (2005) Coral symbiosis: The best and worst of three kingdoms. In: *The Influence of Cooperative Bacteria on Animal Host Biology. Adv. Mol. Cell. Microbiol.* 10:103-118.
- Rowe-Magnus D, Mazel D* (2006) The evolution of antibiotic resistance. In: *Evolution of Microbial Pathogens.* (Seifert HS, DiRita VJ; eds.) pp 221-241. ASM Press, Washington DC, USA.
- Roy CJ, Milton DK* (2004) Airborne transmission of communicable infection — the elusive pathway. *New Engl. J. Med.* 350:1710-1712.
- Salmond GP, Bycroft BW, Stewart GS, Williams P* (1995) The bacterial «enigma»: cracking the code of cell-cell communication. *Mol. Microbiol.* 16:615-624.
- Sansonetti PJ* (2004) War and peace at mucosal surfaces. *Nat. Rev. Immunol.* 4:953-964.
- Sauer K, Camper AK, Ehrlich GD, Costerton JW, Davies DG* (2002) *Pseudomonas aeruginosa* displays multiple phenotypes during development as a biofilm. *J. Bacteriol.* 184:1140-1154.
- Savage DC* (1977) Microbial ecology of the gastrointestinal tract. *Annu Rev Microbiol.* 31:107-133.
- Schell MA, Karmiantzou M, Snel P, Vilanova D, Berger B, Pessi G, Zwahlen MC, Desiere F, Bork P, Delley M, Pridmore RD, Arigoni F* (2002) The genome sequence of *Bifidobacterium longum* reflects its adaptation to the human gastrointestinal tract. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 99:14422-14427.
- Schrezenmeir J, de Vrese M* (2001) Probiotics, prebiotics, and synbiotics — approaching a definition. *Am. J. Clin. Nutr.* 73(Suppl 2):361S-364S.
- Seymour RM* (2005) Commensal diversity and the immune system: Modelling the host-as-network. In: *The Influence of Cooperative Bacteria on Animal Host Biology.* McFall-Ngai MJ, Henderson B, Ruby EG. eds.). Cambridge University Press, Cambridge, USA.
- Singleton P.* (1997) *Bacteria in Biology, Biotechnology and Medicine.* 4<sup>th</sup> ed., John Wiley & Sons Ltd., Chicester, UK.
- Skerman VBD, McGowan V, Sneath PHA (Eds.)* (1989) Approved Lists of Bacterial names.
- Washington (DC)* Am. Soc. Microbiol., USA.
- Smith RD, Coast J* (2002) Antimicrobial resistance: a global response. *Bull. WHO* 80:126-133.

*Sonnenburg JL, Angenent LT, Gordon JI* (2004) Getting a grip on things: how do communities of bacterial symbionts become established in our intestine? *Nature Immunol.* 5:569-573.

*Soong G, Muir A, Gomez MI, Waks J, Reddy B, Planet P, Singh PK, Kaneko Y, Wolfgang MC, Hsiao YS, Tong L, Prince A* (2006) Bacterial neuraminidase facilitates mucosal infection by participating in biofilm production. *J. Clin. Invest.* 2297-2305.

*Stahl DA, Tiedje J* (2002) Microbial ecology and genomics: A crossroads of opportunity. In: *Critical Issues Colloquia of Am. Soc. Microbiol.*, Washington DC., USA.

*Stappenbeck TS, Hooper LV, Gordon JI* (2002) Developmental regulation of intestinal angiogenesis by indigenous microbes via Paneth cells. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 99:15451-15455.

*Steenbergen JN, Casadevall A* (2006) The evolution of human fungal pathogens. In: *Evolution of Microbial Pathogens.* (Seifert HS, DiRita VJ, eds.) 327-346. The ASM Press, Washington DC, USA.

*Swift S, Downie JA, Whitehead NA, Barnard AM, Salmond GP, Williams P* (2001) Quorum sensing as a population-density-dependent determinant of bacterial physiology. *Adv. Microb. Physiol.* 45:199-270.

*Takeda K, Akira S* (2005) Toll-like receptors in innate immunity. *Internat. Immunol.* 17:1-14.

*Tateda K, Standiford TJ, Pechere JC, Yamaguchi K* (2004) Regulatory effects of macrolides on bacterial virulence: potential role as quorum-sensing inhibitors. *Curr. Pharm.* 10:3055-3065.

*Torsvik V, Øvreås L, Thingstad TF* (2002) Prokaryotic diversity — magnitude, dynamics, and controlling factors. *Science* 296:1064-1066.

*Virk A, Steckelberg JM* (2000) Clinical aspects of antimicrobial resistance. *Mayo Clin. Proc.* 75:200-214.

*Wilson M* (2008) *Bacteriology of Humans — An Ecological Perspective.* Blackwell Publ. Ltd., Oxford, UK.

*Wang X, Heazlewood SP, Krause DO, Florin TH* (2003) Molecular characterization of the microbial species that colonize human ileal and colonic mucosa by using 16S rDNA sequence analysis. *J. Appl. Microbiol.* 95:508-520.

*Wexler H* (2007) Bacteroides: the good, the bad, and the nitty-gritty. *Clin. Microbiol. Rev.* 20:593-621.

*Whiteley M, Bangera MG, Bumgarner RE, Parsek MR, Teitzel M, Lory S, Greenberg EP* (2001) Gene expression in *Pseudomonas aeruginosa* biofilms. *Nature* 413(6858):860-864.

*Whitman WB, Coleman DC, Wiebe WJ* (1998) Prokaryotes: the unseen majority. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 95:6578-6583.

*Woese CR, Kandler O, Wheelis ML* (1990) Towards a natural system of organisms: proposal for the domains Archaea, Bacteria, and Eucarya. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 87:4576-4579.

*Wolfe AJ* (2005) The acetate switch. *Microbiol. Mol. Biol. Rev.* 69:12-50.

*Wright EM, Hirayama BA, Loo DF* (2007) Active sugar transport in health and disease. *J. Intern. Med.* 261:32-43.

*Xu J, Gordon JI* (2003) Honor thy symbionts. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 100:10452-10459.

*Yachi S, Loreau M* (1999) Biodiversity and ecosystem productivity in a fluctuating environment: the insurance hypothesis. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 96:1463-1468.

*Yamanaka T, Helgeland L, Farstad IN, Fukushima H, Midtvedt T, Brandtzaeg P* (2003) Microbial colonization drives lymphocyte accumulation and differentiation in the follicle-associated epithelium of Peyer's patches. *J. Immunol.* 170:816-822.

*Zengler K, Toledo G, Rappe M, Elkins J, Mathur EJ, Short JM, Keller M* (2002) Cultivating the uncultured. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 99:15681-15686.

*Zhao J, Yu H, Luo J-H, Cao Z-W, Li Y-X* (2006) Hierarchical modularity of nested bow-ties in metabolic networks. *BMC Bioinformatics* 7:386. doi:10.1186/1471-2105-7-386.

*Zuckermandl E, Pauling L* (1965) Molecules as documents of evolutionary history. *J. Theor. Biol.* 8:357-366.

---

Authors address:

Prof. Dr. sc. med. Gerhard Gerber

Fibona Health Products GmbH

Heinrich-Hertz-Straße 2

65232 Taunusstein

Germany

E-Mail: g.gerber@f-h-p.eu

*Отримано 15.06. 2008 р.*

УДК 504.06; 626/628:528.574

## ПРИНЦИПЫ ОРГАНИЗАЦИИ ГЕОПОРТАЛА НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ДЗЗ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ТЕРРИТОРИАЛЬНЫМ РАЗВИТИЕМ

С.М. Андреев, канд. техн. наук  
(Национальный аэрокосмический университет  
им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»)

Г.Я. Красовский, д-р техн. наук  
(Институт проблем национальной безопасности)

Вит. В. Радчук,  
В.В. Радчук, канд. геол.-мінерал. наук  
(Институт телекоммуникаций и глобального  
информационного пространства НАН Украины)

*Проведен обзор существующих геопорталов различного уровня и назначения. Рассмотрены основные принципы организации геопортала для решения задач территориального развития и принятия управленческих решений.*

*Проведено огляд існуючих геопорталов різного рівня і призначення. Розглянуті основні принципи організації геопортала для вирішення завдань територіального розвитку і ухвалення управлінських рішень.*

*The review of existing geoportal different level and setting is conducted. Basic principles of organization of geoportal are considered for the decision of tasks of territorial development and decision-making administrative.*

### **Введение**

Проблема синтеза эффективной системы управления территориальным развитием представляет собой довольно сложную задачу, так как реальные процессы характеризуются, как правило, нелинейными зависимостями, высоким уровнем шумов и их коррелированностью, меняющимися условиями функционирования, обуславливающими изменение характеристик исследуемых объек-

тов. Необходимость решения задач управления в реальном времени выдвигает определенные требования к скорости принятия управленческих решений. Определяющую роль при этом должны сыграть информационные технологии, позволяющие создавать системы поддержки принятия решений во всех сферах деятельности на базе геоинформационных технологий.

Совершенствование системы управления территориальным развитием на всех уровнях сегодня невозможно без прогресса средств геообработки, пространственного анализа и геовизуализации.

Активное развитие цифровой картографии привело к необычайному росту производства пространственной информации. В настоящее время накоплены терабайты цифровых карт, созданных самыми разными производителями: от профессионалов до любителей.

С другой стороны, растет потребность в такой информации как со стороны профессиональных картографов, пользователей ГИСТехнологий, специалистов разных сфер деятельности, нуждающихся в пространственных данных, так и со стороны просто любопытствующих, интересующихся картами для сугубо личных целей. С развитием цифровой картографии использование карт стало сильно демократизировано.

Однако, у сложившейся ситуации есть и обратная сторона: информации много, но найти ее сложно, поскольку она «застряла» у производителей. Такая ситуация наблюдается как на государственном уровне в очень многих странах, так и в крупных корпорациях, где пространственные данные, накопленные в одних подразделениях, не известны для потребителей других подразделений, и поэтому они создаются или приобретаются вновь.

Одним из мощнейших путей обмена информации сегодня стал Интернет, позволяющий осуществлять поиск и доступ к информационным ресурсам через большое число поисковых систем. При этом нет необходимости прибегать к специальным программным средствам: достаточно иметь стандартный браузер, обычно входящий в пакет офисных приложений операционных систем.

Пространственные данные — один из видов информационных ресурсов, но они имеют свои особенности, которые определяют специфику их размещения в Интернете, поиска, отображения, обмена и использования. К этим особенностям, прежде всего, относятся графическое представление пространственных данных в

виде цифровых карт, их координатная привязка к земной поверхности и множество характеристик, связанных с графическими объектами, в соответствии с которыми можно менять отображение этих объектов. Сложности решения этих проблем определили отставание в интеграции пространственных данных.

### **Постановка задачи**

Провести обзор существующих геопорталов различного уровня и назначения. Определить структуру и задачи геопорталов. Рассмотреть основные принципы организации геопортала для решения задач территориального развития и принятия управленческих решений.

### **Структура и задачи геопортала**

Сегодня создается общемировая инфраструктура пространственных данных SDI (Spatial Data Infrastructure), путь к которой – объединение самих информационных ресурсов и метаданных («информации об информации») в форме ГИС-портала.

Само понятие портала пришло из архитектуры (лат. Porta – вход, ворота), где этот термин используется для обозначения «главного входа» сооружения или комплекса.

Под геопорталом в обиходе часто подразумевают картографические (точнее, геовизуализационные) Web-сервисы, представленные в сети Интернет многочисленными планами и картами городов или иными геоизображениями с возможностью поиска объектов, но не распределенных информационных ресурсов и сервисов. Термином «геопортал» в научно-технической литературе обозначается понятие «сайта или его эквивалента, обеспечивающего доступ к сервисам», т. е. геосервисам для поиска наборов пространственных данных, их визуализации, загрузки, трансформирования и вызова других сервисов, как это определено в статье 11(1) Директивы 2007/2 Европейского парламента и Совета Европы от 14 марта 2007 г. по созданию инфраструктуры пространственной информации ЕС INSPIRE [1].

Под инфраструктурой пространственных данных (ИПД) понимается «информационно-телекоммуникационная система, обеспечивающая доступ граждан, хозяйствующих субъектов, органов государственной и муниципальной власти к распределенным ресурсам пространственных данных, а также распространение и обмен дан-

ними в общедоступной глобальной информационной сети в целях повышения эффективности их производства и использования».

Пространственные метаданные (геометаданные) — это данные о пространственных данных в виде стандартизованного набора сведений об их существенных свойствах, доступные для поиска, оценки и просмотра на геопорталах. Этим минимальным набором, определяющим суть и уникальность геопорталов, их функции не исчерпываются: метаданные для возможности поиска должны быть подготовлены и зарегистрированы в службе каталогов геопортала или автоматически найдены сборщиком. В геосервисах реализованы и иные функции: вычислительные, расчетно-аналитические; данные могут быть визуализированы средствами Web-картографирования, обработаны средствами ГИС, приобретены средствами электронной торговли. Это площадка для взаимодействия поставщиков пространственных данных (производителей, правообладателей) и пользователей.

С точки зрения пользователей ГИС-портал является «единым окном» доступа прежде всего к мета данным. Он обеспечивает поиск необходимой пространственной информации по ее описанию, а также непосредственное получение геоданных и работу с цифровыми картами.

С организационной стороны ГИС-портал — это технология и программное обеспечение одношлюзового Web-доступа для поиска, передачи и использования геоданных и сервисов в любом пункте глобальной сети Интернет, а также размещения информации об имеющихся у кого-то данных. Портал представляет собой единый узел доступа к пространственным данным, независимо от их местоположения, формата и структуры.

Портальное решение позволит решить три масштабные задачи ГИС-сообщества:

- Объединение информационных ресурсов множества производителей и пользователей пространственных данных на всех уровнях интеграции: от глобального до территориального или локального;
- Обеспечение поиска/доступа к необходимой информации простыми средствами, не требующими специализированного программного обеспечения и подготовки;
- Упорядочение пространственной информации в общедоступные каталоги, пригодные для автоматизированного формирования и исследования.

**Геопортал** — это инновационная информационная и коммуникационная платформа для геоданных, информации и геосервисов, которая обеспечивает:

- информационно-коммуникационную среду интеграции и распределенной обработки данных в области наук о Земле, информационного обмена и взаимодействия;
- интеграцию информационно-аналитических ресурсов и программно-технологических комплексов распределенной обработки данных по наукам о Земле;
- использование аналитических методов исследований поверхности и недр Земли и моделирование процессов и явлений (научных проектов).

Это определение термина «геопортал», является общепринятым на международном уровне и рекомендовано для использования при создании национальной инфраструктуры пространственных данных (ИПД).

**Цель геопортала** — создание инструмента современной информационно-технической инфраструктуры по визуализации и распределенной обработке данных в области науки о Земле для развития научно-исследовательской, проектно-познавательной деятельности и решения сложных информационно-аналитических задач на базе геоинформационных технологий.

**Задачи геопортала**

- обмен доступными космическими снимками, получаемыми от различных спутников дистанционного зондирования Земли;
  - сбор и ознакомление с тематически обработанными данными ДЗЗ;
  - сбор и ознакомление с различными проектами на базе геоинформационных технологий;
  - разработка и популяризация национальной инфраструктуры пространственных данных и метаданных;
  - обмен опытом, разработка и реализация совместных проектов;
- Мобразовательный ресурс по пропаганде, изучению теории и практики геоинформационных технологий
- профессиональная ориентация молодежи для подготовки к поступлению в профильные ВУЗы

Базовые информационные технологии для создания геопортала — интегрированный комплекс технологий глобальной сети Интер-



нет (Web), сетевых аналитических геоинформационных систем (GIS) и распределенных вычислительных сетей (Grid).

Принцип организации работы геопортала представлен на рис. 1.

Геопортал помогает осуществить демократизацию доступа к данным ДЗЗ, что означает их

- Удешевление для конечного пользователя,
- сокращение времени получения данных,
- упрощение процесса их обработки

#### **Классификация геопорталов по различной направленности**

• *Общедоступные геопорталы.* Предназначены для обслуживания широкого круга пользователей в режиме on-line (2 уровня доступа — бесплатные и платные сервисы)

• *Специализированные ведомственные геопорталы.* Предназначены для геоинформационного обслуживания государственных ведомств. Используют закрытые каналы связи и методы разграничения доступа

• *Коммерческие геопорталы.* Создаются по заказам крупных компаний, в качестве средства для повышения эффективности управленческих процессов путём предоставления геопространственной информации

Порталы подразделяются на **вертикальные и горизонтальные.**

*Вертикальные* — это тематические порталы, которые ориентированы на один вид или тип информационного наполнения.

*Горизонтальные* порталы могут содержать в себе несколько тематических вертикальных порталов.

#### **Примеры реализации проектов геопорталов**

Пробным «шагом» в организации портала пространственных данных стала Географическая Сеть ([www.geographynetwork.com](http://www.geographynetwork.com)) — созданный компанией ESRI узел обмена информацией о доступных пространственных данных, который был запущен в 2000 году (рис. 2) [2, 4].

Портал был организован, прежде всего, для апробации программного обеспечения, созданного этой компаний для организации и поддержки порталов пространственных данных. Однако он быстро завоевал популярность, и сегодня обслуживает более миллиона карт в день. Этот портал базируется на программном обеспечении ESRI, предоставляя открытую среду для хранения ссылок, просмотра географических данных и карт, использования сопутствующих служб.

Стать участником данного узла просто: нужно опубликовать метаданные и дать доступ к вашему картографическому серверу ArcIMS или к скачиваемым данным. Этот портал получил признание и высокую оценку общественности. Джек Данджермонд, Президент ESRI, заявил, что «Geographynetwork — это одно из важнейших достижений компании. ESRI будет продолжать исследовать и развивать технологию, которая будет способствовать конвергенции Интернет и инструментария ГИС, обеспечивая всем неограниченный доступ к пространственной информации».

Первая масштабная реализация портала пространственных данных на государственном уровне была осуществлена в США в рамках концепции создания Национальной инфраструктуры пространственных данных (NSDI) в форме государственного правительственного портала GOS (Geospatial One-Stop Operational Portal). Для реализации действующего сейчас второго варианта этого портала (GOS 2, <http://gos2.geodata.gov/wps/portal/gos>) была привлечена компания ESRI, которая ранее уже создала и помогла запустить прототип такого решения (портал GOS 1). Предложенная ESRI технология обеспечивает существенное продвижение средств ГИС в среду Интернет. Этот разработанный ESRI сайт был впервые запущен в июле 2003 г. и быстро стал пользоваться огромной популярностью, повысив эффективность деятельности правительственных организаций и обеспечив поддержку процессов принятия управленческих решений. Сайт является центральным местом для публикации и поиска метаданных о ресурсах разных агентств, через него доступны более 100 тыс. записей метаданных (рис. 3) [5].

Опыт успешного внедрения этого решения был принят на вооружение правительствами ряда стран, также организовавших государственные порталы пространственных данных. В качестве крупных реализаций региональных и национальных ГИС-порталов можно привести примеры Европейского межгосударственного портала INSPIRE, SNIG — портал Португалии, ASDI — в Австралии, NaLIS — в Малайзии, NSIF — в ЮАР, Индийский портал NSDI и др. Имеются примеры организации национальных порталов частными организациями — в Великобритании (NGDF) и Уругвае.

Европейский геопортал INSPIRE (Infrastructure for Spatial Information in Europe) создан в 2005 году по инициативе Европейской Комиссии в рамках Евросоюза. Его цель — создать основу

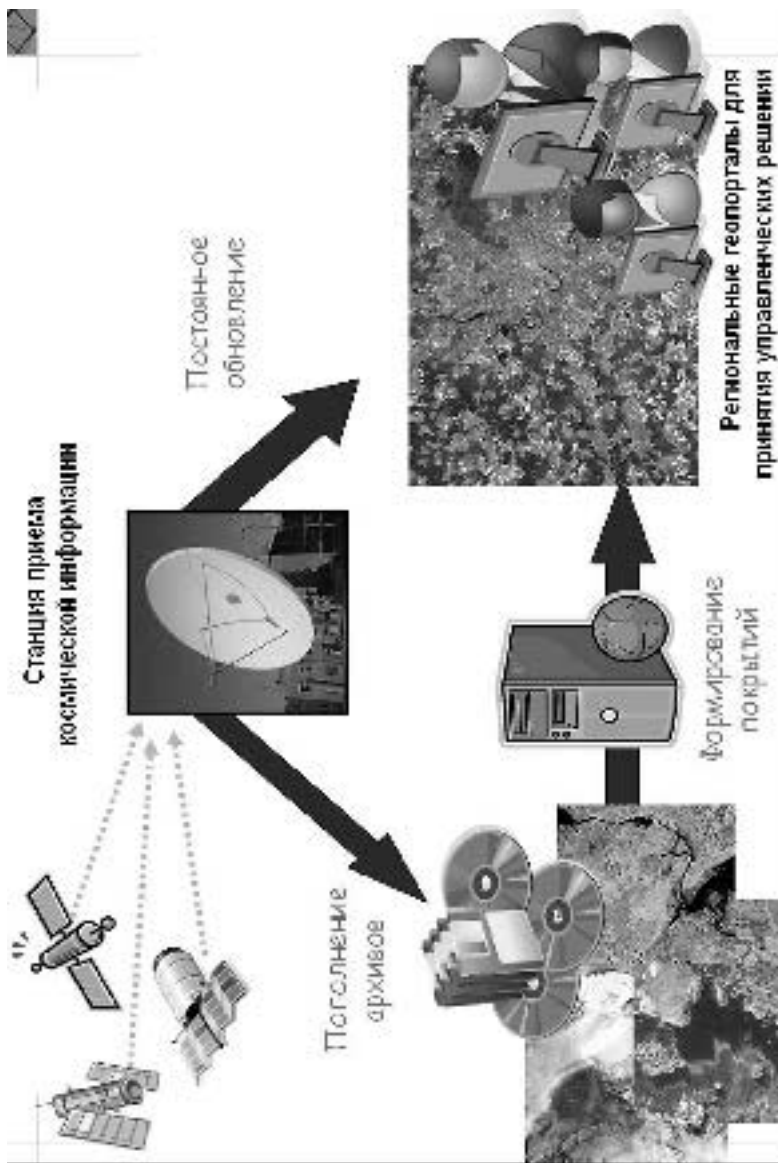


Рис. 1. Принцип организации работы геопортала.

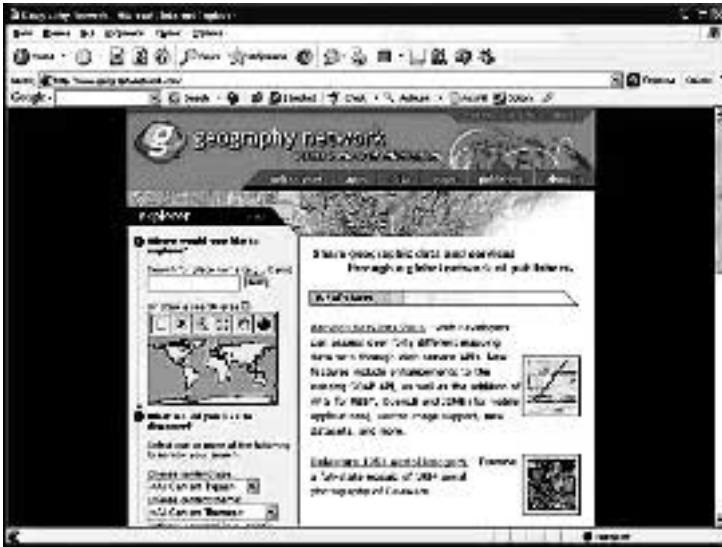


Рис. 2. Титульний вхід портала geographynetwork.com.

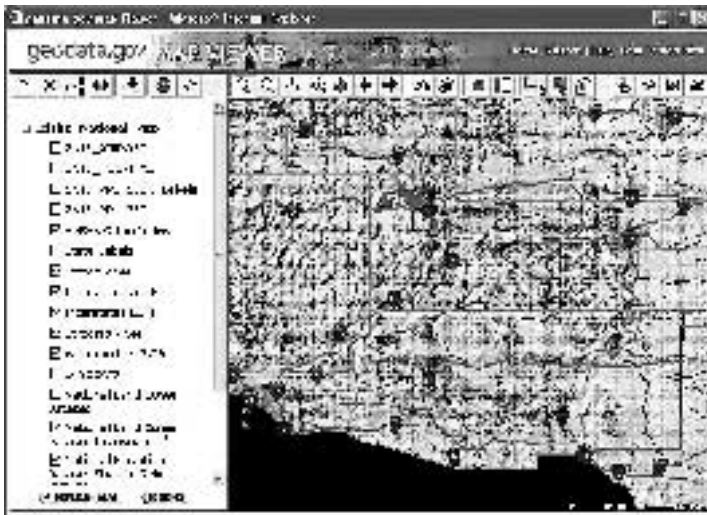


Рис. 3. Вид государственного портала пространственных данных США.

единой Европейской инфраструктуры пространственных данных, формируемой за счет интеграции пространственной информации и сервисов с использованием единых стандартов и протоколов обмена данными. В качестве таких стандартов предпочтение отдается стандартам ISO, CEN, OGC, W3C. Этот портал связывает воедино множество национальных и тематических серверов по всей Европе. Его основные принципы хорошо отражают базовую концепцию порталной организации пространственных данных:

- Данные должны создаваться единожды и поддерживаться там, где это можно сделать наиболее эффективно;
- Должна быть создана возможность объединения пространственных данных из разных источников Европейского союза, к ним должны иметь доступ многие пользователи и приложения;
- Пространственные данные, полученные на одном уровне управления, должны легко передаваться на все другие уровни;
- Пространственные данные, необходимые для эффективной хозяйственной деятельности, должны быть доступны на условиях, не препятствующих их активному использованию;
- Организация пространственных данных должна обеспечивать их легкий поиск, оценку пригодности для определенных целей и условий их получения.

Европейский портал имеет развитую поисковую систему и удобный интерфейс для запроса данных. В данной поисковой системе задействовано более 50 тыс. ссылок на пространственные данные (рис. 4) [6].

Еще одним примером хорошо организованного национального портала может служить Индийский портал NSDI (<http://gisserver.nic.in/nsdiportal>), доступ к которому организован рядом государственных агентств. На портале собраны ссылки на большую коллекцию разномасштабных топографических карт на всю территории этой страны: от обзорных масштабов отображения (1:1000000) до достаточно детальных (1:25000). Портал открыт для публикации информации о наличии пространственных данных в тех или иных организациях и учреждениях. Интерфейс портала удобен для поиска данных по большому набору признаков: тематике, территориальному охвату, актуальности данных и т. п. (рис. 5) [7].



Рис. 4. Вид окна поиска данных Европейского портала INSPIRE.

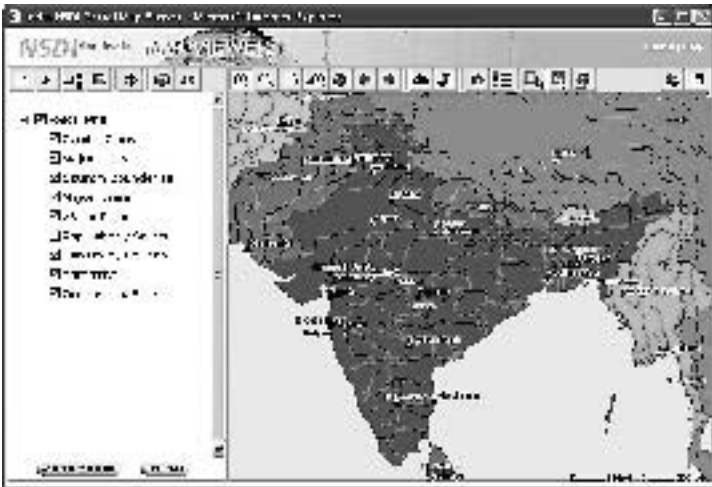
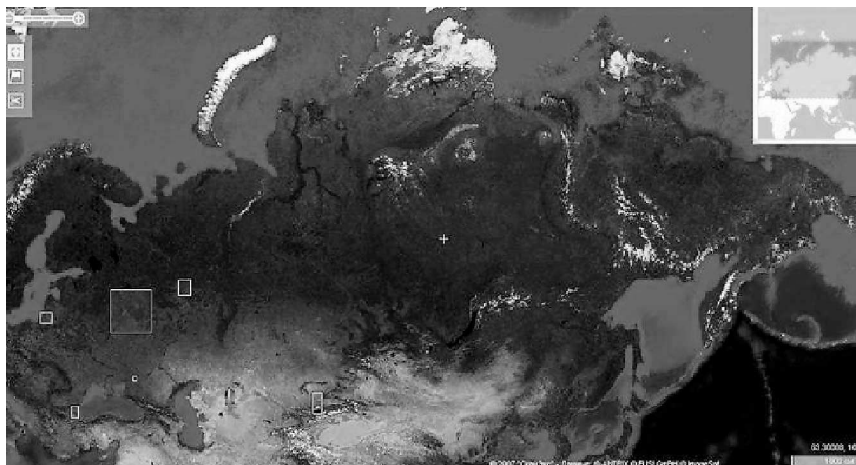


Рис. 5. Вид страницы Индийского государственного портала NSDI.



*Рис. 6. Google Earth, <http://earth.google.com>.*



*Рис. 7. Google Earth, <http://earth.google.com>.*

**Примеры геопорталов различного уровня и назначения:**

- *Глобальные коммерческие картографические серверы* — Google Earth/Maps (рис. 6—8); TerraServer (рис. 9); MS Virtual Earth(рис. 10); Yahoo!Maps (рис. 11);
- *Национальные* — Geoportail.fr; «ДАТА+» (рис. 11—13);
- *Экспериментальные* — New.Kosmosnimki.ru (рис. 14—15), Электронная Земля;
- *Поисково-адресные* — Maps.Yandex;
- *Перспективные проекты* — образовательный геопортал.

У каждого геопортала имеются свои особенности, достоинства и недостатки, однако самым популярным и достаточно широким по своим возможностям является Google Maps и Google Earth.

Первый полнофункциональный геопортал в Руснете [8], был создан специалистами ООО «ДАТА+» и появился в сети Интернет в марте 2007 г. Геопортал (<http://maps.dataplus.ru/>) (рис.11) построен с использованием программного обеспечения ESRI, Inc. (США), в том числе ESRI GIS Portal Toolkit 3.1.

Функциональные возможности геопортала включают в себя:

- интерактивную онлайн-подготовку пространственных метаданных с помощью встроенной в геопортал HTML-формы, ArcGIS ArcCatalog или любого XML-редактора; их публикацию средствами ArcIMS Metadata Server напрямую из интерфейса геопортала;
- поиск метаданных по карте или их атрибутам; визуализацию картографических Web-служб встроенным приложением — средством Web-картографирования Map Viewer, открываемом в браузере;
- автоматизированный сбор метаданных из других источников (Harvesting Tool); инструменты каталогизации метаданных и распределения доступа к ним.

Каталог метаданных геопортала компании «ДАТА+» поддерживает стандарты метаданных ISO 19115:2003, ISO 19139:2007 и CSDGM (FGDC-STD-001—1998), может работать вместе с ArcGIS Explorer. Геопортал компании «ДАТА+» это пример возможной реализации узла распределенной ИПД.

С технологической точки зрения геопортал «ДАТА+» представляет собой систему, в центре которой находится база метаданных, управляемая СУБД. Обработку запросов к базе метаданных осуществляет ГИС-сервер метаданных, созданный по технологии GIS



Portal Toolkit. Возможность доступа к геопорталу через Интернет обеспечивает Web-сервер. Система устроена таким образом, что подключиться к геопорталу для работы с базой метаданных через Интернет можно и из обычного Web-браузера, и из «настольных» ГИС — на сервере геопортала работает Web-служба метаданных.

Главным элементом интерфейса геопортала «ДАТА+» является каталог метаданных. Для удобства обзора он разделен на отдельные типовые и тематические категории, доступ к которым осуществляется с главной страницы геопортала (рис. 11). В каталоге выделены три группы категорий метаданных — данные, приложения и события. Кроме этого, на главной странице геопортала находится строка для поиска геоданных по ключевым словам, список доступных пользователю функций и графические ссылки на недавно появившиеся на геопортале ресурсы.

Для поиска геоданных по большому числу параметров существует страница расширенного поиска (рис.12), предоставляющая возможность указания интересующей пользователя географической области на карте, выбора нужных типа, категории и формата данных, поиска данных по публикатору, временному периоду или существующим тезаурусам ключевых слов.

После определения условий поиска и его осуществления пользователю представляется список описаний геоданных, удовлетворяющих указанному значению. Каждая запись метаданных может быть снабжена соответствующим графическим образом, включает в себя основные описательные параметры и содержит ссылки для более подробного просмотра метаданных. Если в метаданные включена соответствующая информация, будут активны ссылки для перехода на адрес ресурса.

Важной функцией геопортала является возможность пополнения пользователями базы метаданных сервера. Сделать это можно двумя способами — загрузкой на геопортал готового XML-документа метаданных или созданием новых метаданных прямо в Web-интерфейсе геопортала. Последнее можно осуществить с помощью специальной HTML-формы, доступной пользователям, имеющим соответствующий статус. После заполнения нужных полей формы на сервере создается документ метаданных в формате XML, который автоматически добавляется в базу метаданных и публикуется в каталог метаданных геопортала. Управление опубликованными на геопортале метаданными осуществляется со специальной



Рис. 8. Google Earth, <http://earth.google.com>.

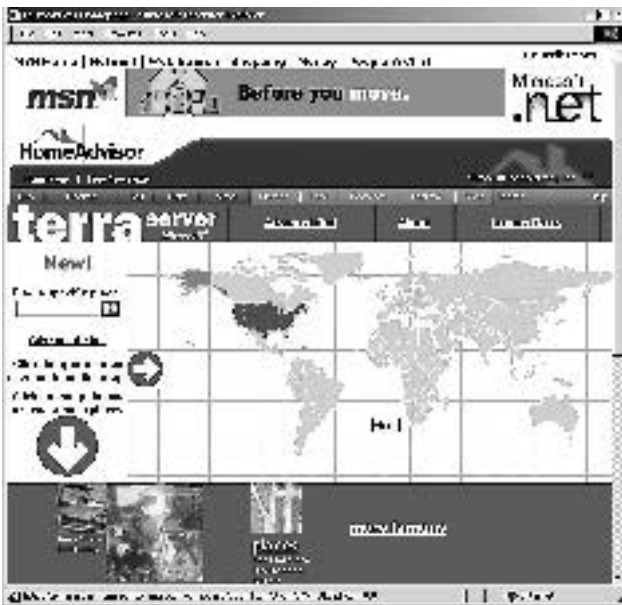


Рис. 9. TerraServer, <http://terraServer.microsoft.com>.



Рис. 10. MS Virtual Earth, <http://virtualearth.msn.com>.

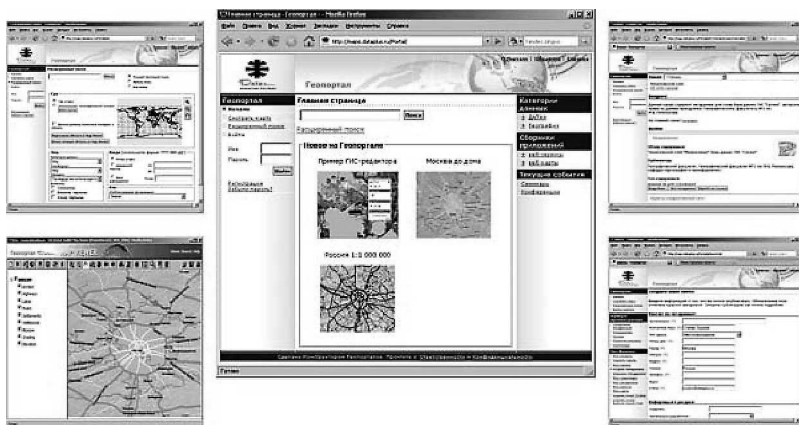


Рис. 11. Геопортал «ДАТА+».



Рис. 12. Расширенный поиск метаданных.

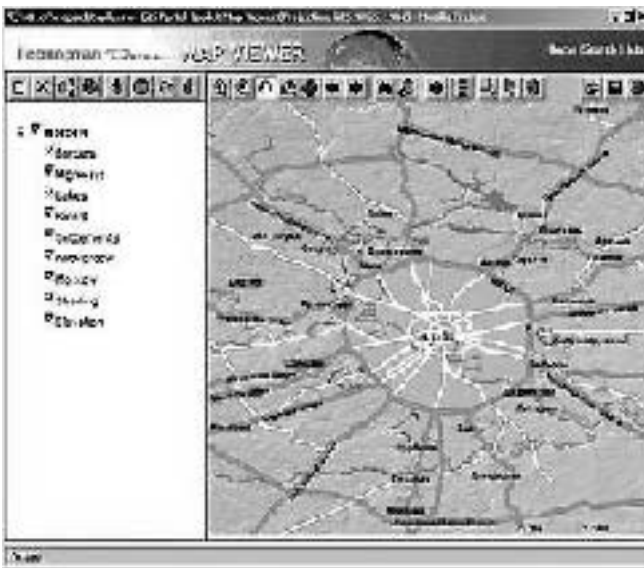


Рис. 13. Map Viewer.

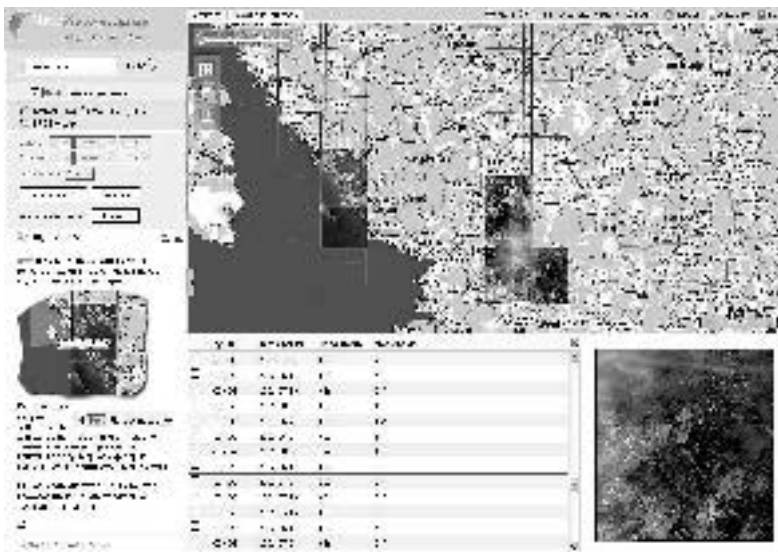


Рис. 14. «Космоснимки», <http://new.kosmosnimki.ru>.



Рис. 15. «Космоснимки», <http://new.kosmosnimki.ru>.

страницы Web-интерфейса, доступной администратору геопортала и публикаторам метаданных. Функции управления опубликованными метаданными включают просмотр, скачивание, удаление метаданных или изменение их содержания с помощью HTML-формы.

Распределение доступа к геопорталу осуществляется путем создания учетных записей пользователей в базе данных геопортала и предоставления каждой учетной записи определенного уровня доступа. Форма для регистрации на геопортале доступна с его главной страницы. Существует пять групп пользователей, каждой из которых предоставляется соответствующий уровень доступа: администратор геопортала, публикаторы метаданных, управляющие категориями, авторизованные пользователи и неавторизованные пользователи. Администратор геопортала может предоставлять зарегистрированному пользователю нужный статус, создавать разделы каталога метаданных, управлять всей базой метаданных и рядом служебных функций геопортала. Публикаторы имеют возможность пополнять базу метаданных геопортала и публиковать свои метаданные в каталоге метаданных. Управляющие категориями могут изменять содержимое своего раздела каталога метаданных. Авторизованные пользователи имеют возможность проводить поиск метаданных по каталогу и сохранять карты, созданные во встроенном картографическом Web-клиенте геопортала. Незарегистрированные пользователи могут только просматривать каталог метаданных геопортала.

Среди инструментов геопортала «ДАТА+» есть встроенный картографический Web-клиент Map Viewer (рис. 13). Это Web-приложение, работающее из окна Web-браузера и доступное по ссылке с главной страницы геопортала.

С помощью Map Viewer пользователи могут подключаться к существующим ГИС-серверам, найденным по каталогу метаданных, и отображать одну или несколько картографических Web-служб.

Важнейшая функция геопортала, во многом обеспечивающая «портальный» характер системы, — это возможность автоматизированного обмена метаданными с другими геопорталами и сбора метаданных из Интернет-источников. В системе геопортала «ДАТА+» эта функция осуществляется с помощью специального инструмента Harvesting Tool, который устанавливается, настраивается и за-

пускается администратором геопортала. Harvesting Tool позволяет определять параметры источника и точки назначения публикации метаданных, а также осуществлять регулярную публикацию метаданных по графику. В качестве источника могут выступать Web-служба метаданных ArcIMS (стандарт ESRI), Z3950 (стандарт ANSI/NISO Z39.50-1995), CSW (Catalogue Services for the Web, стандарт) или простая Web-папка Web Accessible Folder (WAF). В качестве точки назначения используется Web-служба метаданных геопортала. Другая полезная функция геопортала, позволяющая использовать его возможности в работе ГИС-операторов, - это подключение к каталогу метаданных геопортала из «настоольных» ГИС. В частности, существует возможность подключиться к Web-службе метаданных геопортала «ДАТА+» из программных продуктов ArcGIS Desktop и осуществлять поиск по метаданным, обзор каталога и просмотр картографических Web-служб, найденных на геопортале.

Кроме обеспечения возможности быстрого доступа пользователей к ГИС-ресурсам, основными задачами создания этого геопортала являются внедрение методологии ИПД в работу ГИС-специалистов, демонстрация существующих технологий по созданию геопорталов, а также внедрение инфраструктурных ГИС-технологий в бизнес и образование. Основные перспективы развития геопортала «ДАТА+» — дальнейшее пополнение базы метаданных геопортала, увеличение числа пользователей, создание новых разделов каталога метаданных, открытие каналов взаимодействия с другими геопорталами, появляющимися в российской зоне сети Интернет. Геопортал «ДАТА+» активно используется в образовательных целях и научных исследованиях.

Информационное наполнение геопортала Kosmosnimki.ru (рис. 14—15), 2007 г., составляет бесшовная тонально-сбалансированная мозаика. в настоящее время представленная снимками с индийского спутника IRS с разрешением 5,8 м (базовый слой), американского IKONOS на избранные территории (разрешение 0,8 м) и израильского EROS A (2 м). В перспективе ИТЦ «СканЭкс», имеющий собственную технологию создания и обновления базового слоя (ресурса), может обеспечить полное покрытие актуальными снимками с разрешением 5,8—10 м территории России и СНГ с возможностью обновления базового слоя с периодичностью 2—3 года благодаря наличию собственной сети приемных станций и программных средств обработки материалов съемки, включая

ScanEx IMAGE Processor для создания мозаик, синтезированных изображений, а также видеороликов полета. Впервые стал общедоступным инструмент универсального поиска данных высокого разрешения IKONOS, QuickBird и EROS A. На геопортале реализованы группы сервисов, включая поисковые (ссылка на местоположение, поиск по топонимической базе данных), дополнительные геоинформационные (расчет расстояний и площади) и дополнительные пользовательские (печать страницы просмотра, сервис путевых точек и добавление комментариев к ним). Know-how проекта — поиск снимков по «лучшему покрытию», отбираемых по суммарному критерию качества (самые «свежие» и безоблачные).

Портальные решения доступа к информации нашли воплощение и в Украине. Их прототипы — ситуационные центры в ряде силовых ведомств, организующих пространственную информацию на едином сервере (или группе связанных серверов) для работы с ней и выведения на большом экране при коллективном обсуждении ситуации и принятии оперативных решений. Ситуационные центры развиты и в других ведомствах, работающих с пространственной информацией: Министерстве охраны окружающей природной среды, Министерстве транспорта и др.

Оборудование ситуационных центров достаточно дорогостоящее, поэтому оно доступно не всем ведомствам. Портальные решения нашли более широкое применение, в том числе в крупных корпорациях и на региональном уровне управления. Доступ к информации имеют пользователи любых подразделений, авторизованных на просмотр и использование пространственных данных разного уровня. Поиск информации существенно облегчен объединением данных в крупные разделы, названные картографическим атласами. Преимущества портального подхода существенно расширили возможности обращения к картам, облегчили работу подразделений, обращающихся к базовым данным и совмещающих их с собственной информацией. К пространственным данным в среде Интранет могут обращаться и сотрудники корпорации, не имеющие специального программного обеспечения. Для их удобства создан простой интерфейс работы с пространственными данными.

#### **Принципы организации геопортала**

Структура организации портала включает три основных компонента:



- Каталог метаданных на портале, где пользователи производят поиск данных и размещают сведения об имеющихся у них данных;
- ГИС-узлы, где пользователи размещают и публикуют пространственные данные;
- ГИС-пользователи, которые осуществляют поиск данных, а затем соединяются с ГИС-узлами, где эти данные расположены, для использования доступных данных или сервисов.

Каталог метаданных — это база данных, содержащая индексируемые метаданные о геоданных. Содержание каталога формируется теми пользователями, которые хотят предоставить свои данные для общественного использования, регистрируя сведения об имеющихся у них данных на портале. Содержание каталога может определяться и поддерживаться несколькими способами.

Например, пользователи ArcGIS 9 могут с помощью ArcCatalog соединиться с каталогом метаданных на сервере, сформировать и опубликовать метаданные непосредственно из пространственных данных или из файлов, содержащих их описание. Пользователи могут также загружать XML-файлы, или подключить автоматическую загрузку метаданных с имеющихся у них серверов метаданных ArcIMS, папок, доступных через Web (WAF), или узлов, созданных для передачи данных по протоколу Z39.50. С помощью ArcCatalog можно также осуществлять поиск данных на портале.

Пользователи, которые не используют ГИС-системы, имеют возможность работать с поисковой системой непосредственно на портале. По результатам поиска предоставляется описание данных, их общий вид и другая важная информация о данных. Также дается ссылка на Web-адрес, где содержатся данные, и может предоставляться возможность их посмотреть в специальном окне просмотра геоданных (Map Viewer), которая достаточна для большинства пользователей.

Для организации ГИС-портала используют портал метаданных ArcIMS, архитектура которого включает три программных продукта ESRI (рис. 16):

- ArcIMS — дает основу и архитектуру, на которой работает сервер метаданных;
- ArcCatalog — составная часть ArcGIS, используемая для создания и публикации метаданных;
- ArcSDE — обеспечивает доступ и управление опубликованными метаданными, хранящимися в базе данных.

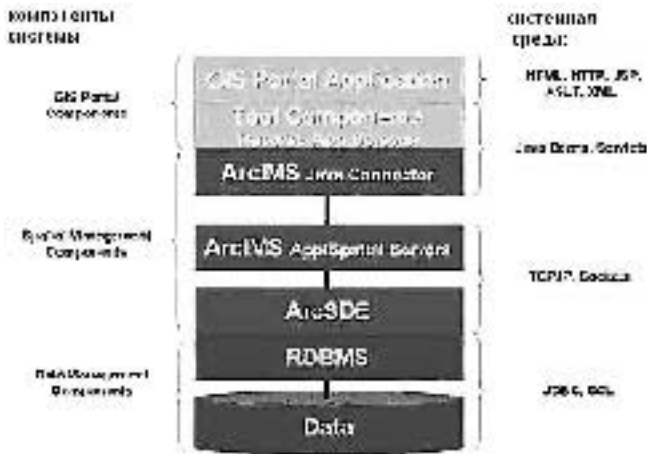


Рис. 16. Архитектура портала пространственных данных.

Создание портала — дело достаточно трудоемкое, поскольку требуется установка и настройка серверных и настольных приложений. Для облегчения организации и связывания всех необходимых компонентов в арсенале программных средств ESRI имеется специальный инструментарий GIS Portal Toolkit, который предоставляет шаблоны и средства настройки основных функций портала: Домашняя страница ГИС портала; Функция поиска метаданных; Процессы получения и обработки результатов поиска; Функция публикации метаданных; Функция автоматического сбора метаданных; Окно просмотра данных; Каталог метаданных.

С помощью GIS Portal Toolkit создание ГИС-портала становится достаточно простой и реально выполнимой задачей. Дело остается за наполнением каталога качественными метаданными и данными, которыми стоит поделиться с широким кругом пользователей (рис. 17).

### Инструменты геопортала

1. Поисковые сервисы
  - Ссылка на местоположение
  - Поиск по топонимической базе
2. Дополнительные информационные сервисы
  - Расчет расстояния
  - Расчет площади



Рис. 17. Пример организации геопортала на принципах ArcIMS.

- Отображение динамически обновляемых слоев
  - Добавление и редактирование пользовательских векторных слоев
3. Дополнительные пользовательские сервисы
- Печать страницы просмотра
  - Сервис путевых точек
  - Добавление комментариев и обозначение объектов на карте
4. Каталог данных
5. Интернет-магазин

**Предпосылки создания национальных геопорталов:**

- Отсутствие актуальной картографической информации.
- Отсутствие детальной и точной геопространственной информации по Украине.
- Тенденции растущего спроса на геонавигационные услуги. Сегодня в Украине наблюдается значительный рост спроса на геопространственные данные и услуги их оперативного предоставления через различные виды связи.

**Направления развития геосервисов:**

- интеграция новых типов данных (семантических, графических, видео) и датчиков (SPOT-5 и аэрофотосъемка)
- создание специализированных ведомственных геопорталов на базе хорошо зарекомендовавших себя коммерческих геосервисов (отображение данных NASA средствами GOOGLE, геопортал космического центра European Space Center и др.)

- создание национальных геопорталов
- разработка и принятие национального геоинформационного стандарта для инфраструктуры пространственных данных на базе международных стандартов ISO 19100.

**Преимущества региональных и национальных геопорталов**

- Актуальность данных: частота обновления покрытий
- Детальность: высокое разрешение на всю городскую и промышленную инфраструктуру
- Локализацию: интерфейс на языке пользователя, поиск, топонимика
- Безопасность: использование ресурсов геопортала в интересах государственных служб и ведомств
- Возможность бизнес-приложения: реклама, платные сервисы, корпоративные расширения

**Выводы**

Таким образом порталные технологии позволяют обеспечить периодическое обновление информации близкое к реальному времени и решать сложные ресурсоемкие задачи в совместной командной работе географически распределенных групп пользователей при взаимодействии с отраслевыми, региональными и международными информационными системами.

Современные геопорталы на всех уровнях управления должны стать основной платформой обеспечения инфраструктуры геопро-странственных данных Украины для анализа реального состояния и принятия управленческих решений в стране.

\* \* \*

1. *Андреанов В.Ю.* Инфраструктура пространственных данных // ArcReview. — 2006. — № 2. — [http://www.dataplus.ru/Arcrev/Number\\_37/1\\_SDI.html](http://www.dataplus.ru/Arcrev/Number_37/1_SDI.html).

2. *Лебедева Н.* ГИС-портал единое окно / ARCREVIEW/ №2 (37). 2006. — С. 13—14.

3. *Капралов Е.Г., Кошкарёв А.В., Тикунов В.С.* Геоинформатика. — М.: Академия, 2005. — 480 с.

4. Национальный геопортал Канады Geodiscover. — <http://geodiscover.cgdi.ca/>.

5. Национальный геопортал США Geodata. — <http://gos2.geodata.gov/>.
6. Европейский геопортал Inspire. — <http://www.inspire-geoportal.eu/>.
7. Национальный геопортал Индии. — <http://gis.nic.in/>.
8. *Аляутдинов А.Р., Лурье И.К., Осокин С.А.* Проектирование и использование локальной инфраструктуры пространственных данных // Мат-лы XIV Всероссийского форума «Рынок геоинформатики в России. Современное состояние и перспективы развития». <http://www.gisa.ru/38332.html>
9. ГОСТ Р 52438—2005 «Географические информационные системы. Термины и определения». — М.: Стандартинформ, 2006. — 11 с.
10. [http://www.ec-gis.org/inspire/directive/l\\_10820070425en00010014.pdf](http://www.ec-gis.org/inspire/directive/l_10820070425en00010014.pdf). «Пространственные данные» № 4 за 2007 г. <http://www.gisa.ru/42402.html> , продолжена в данном номере <http://www.gisa.ru/44537.html>.
11. ISO 19115:2003 Geographic information — Metadata. URL: <http://www.isotc211.org/>.
12. ГОСТ Р 52573-2006 «Географическая информация. Метаданные». — М.: Стандартинформ, 2006. — 58 с. (URL: <http://www.standards.ru/document/4151068.aspx> ).
13. URL: <http://www.gisa.ru/36360.html>.
14. URL: <http://maps.dataplus.ru/Portal>.
15. URL: <http://gisa.ru/42585.html>.
16. URL: <http://www.gisa.ru/42932.html>.
17. *Розенберг И.Н., Сазонов Н.В., Альтшулер Б.Ш., Самратов У.Д.* Инфраструктура пространственных данных ОАО «Российские железные дороги» // Пространственные данные. — 2005. — № 4. — С. 26—32 (URL: <http://www.gisa.ru/25872.html>).
18. URL: <http://www.gisa.ru/35827.html>.
19. URL: <http://gis.krasn.ru/projects/452/projects.php>.
20. URL: <http://www.gisa.ru/42802.html> .
21. OGC — Open Geospatial Consortium, Inc.®: URL: <http://www.opengeospatial.org/> .
22. URL: <http://www.kosmosnimki.ru/> .
23. *Au E.B.* Геопортал как инструмент управления территориями. Kosmosnimki.ru — первый отечественный прототип региональных и ведомственных геопорталов // Управление развитием территории. — 2007. — № 4. — С. 70—72.

*Отримано 25.09.2008 р.*

УДК 551.509.57:681.3

## **СОЗДАНИЕ ПРИКЛАДНОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ РЕГИОНОВ УКРАИНЫ С ВЫСОКИМ РИСКОМ НАВОДНЕНИЙ**

*В.Г. Писаренко, д-р физ.-мат. наук, проф.  
Ю.В. Писаренко, канд. техн. наук  
(Институт кибернетики  
им. В.М. Глушкова НАН Украины)*

*В данной работе в качестве информационной поддержки геоинформационной системы предлагается методика математического моделирования, разработки алгоритмического и программного обеспечения расчета величины риска природного метеобедствия типа наводнения в данной предгорной местности с помощью сопоставления данных расчета снегозапаса и/или величины влагозапаса в мощной туче с оперативными данными о динамике метеопараметров в предпрогнозный период.*

*В даній роботі в якості інформаційної підтримки геоінформаційної системи (ГІС) запропоновано методику розрахунку розміру ризику природного метеоліха типу повені в передгірській місцевості. Методика містить у собі математичне моделювання, розробку алгоритмічного та програмного забезпечення. Розрахунок проводиться за допомогою співставлення даних обчислення снігозапасу рельєфу і/або розміру снігозапасу в потужній хмарі з оперативними даними про динаміку метеопараметрів в передпрогнозний період.*

*In this work as informative support of the geoinformational system (GIS) the method of risk size calculation of natural meteorobedstviya (type - flood in mountain locality) is offered. The method includes a mathematical modelling, development of the algorithms and software. The calculation is made by comparison of information about relief snow supply calculation and/or size of snow supply in a powerful cloud with on-line data about the dynamics of meteoroparameters in a pre-prognosis period.*

© В.Г. Писаренко, Ю.В. Писаренко, 2008

**Постановка задачі.** Среди важных задач природопользования и экологического мониторинга выделяется проблема прогнозирования по космо- и авиаснимкам вероятности наступления метеобедствия. Например, прогнозирование момента начала паводка и его силы, схода снежных селей в горной местности из-за внезапного таяния большого снеготалопа или схода ледников в ниже лежащее ущелье. Для условий Украины эти проблемы приобретают все большую актуальность из-за участившихся масштабных разрушений многих населенных пунктов наводнениями в предгорьях Карпат с конца 90-х гг. прошлого века и до настоящего времени. Еще более масштабные примеры катастрофических наводнений в конце лета — начале осени появились в последние годы в Германии, Венгрии, Чехии, Словакии и других странах Центральной и Западной Европы.

В связи с этим в технически развитых странах мира резко возрос интерес к использованию для решения названных проблем следующих интеллектуальных средств информатики:

- накопление баз данных в специальных центрах сбора метеоинформации и обмен этими данными через Internet между центром (сервером) и пользователями (клиентами) по схеме сервер-сервер, сервер — клиент, клиент — клиент;
- статистическая обработка накопленных данных с целью выявления скрытых причинно-следственных закономерностей природных явлений и последствий масштабной технической деятельности людей, влияющих неблагоприятно на природную среду;
- создание компьютерных экспертных систем прогнозирования возможных последствий крупных инженерных проектов или крупномасштабных разработок природных ресурсов или климатических аномалий на возрастание риска возникновения высокоэнергетических аномалий, приводящих к метеобедствиям для населения, промышленных объектов и иной инфраструктуры природно-технических комплексов.

Одной из общих черт названных проблем и методов их решения является активное использование географических атрибутов, фигурирующих в этих задачах объектов, что на языке современной информатики принято называть геоинформационной системой (ГИС).

В данной работе в качестве информационной поддержки геоинформационной системы предлагается методика математического

моделирования, разработки алгоритмического и программного обеспечения расчета величины риска природного метеобедствия типа наводнения в данной предгорной местности с помощью сопоставления данных расчета снегозапаса и/или величины влагозапаса в мощной туче с оперативными данными о динамике метеопараметров в предпрогнозный период

Анализ существующего рынка программного обеспечения показал, что решение названных задач не предусмотрено в составе даже таких популярных версиях программных продуктов ГИС, как MAPPER, PHOTOMOD, MAPINFO, IDRISI; системы ввода и создания карт ARCSCAN, IVEC/IGEIVEC, DIGDMAP, GEODRAW, EASYTRANCE, MAPEDIT, MAPSCAN; ГИС-вьюеры ARCVIEW, WINMAP, WINCAT; инструментальные средства реализации ГИС-проектов ARC/INFO, ATLAS, WINGIS, GEOGRAF, GEOCONSTRUCTOR, IDRISI, ILWIS, MAPINFO, SYSTEM 9, AUTO SURF, SICAD, CYBERSPACE DEVELOPER KIT.

Использование разрабатываемого авторами программного продукта предполагается в организациях, где требуется проводить мероприятия по прогнозированию метеобедствий и ликвидации их последствий.

Проведенный авторами анализ литературы [1] показывает, что задачи обработки авиаснимков, направленной на обнаружение экологических аномалий, таких как большой снегозапас на участках с рельефом; решение задачи восстановления некоторых параметров заснеженного рельефа по имеющимся аэрофотоснимкам, методики расчета уровня паводка в предгорных реках в результате быстрого таяния снегозапаса в горах либо из-за интенсивных осадков практически не освещены в литературе.

В данной работе предложены математические модели и программные средства для расчета уровня паводка реки в условиях наиболее опасного развития событий в данной местности, определения величины ожидаемого ущерба от указанных типов метеобедствий, вычисления снегозапаса на интересующем участке горного рельефа, представленного картой линий равных высот.

**Оценка влагозапаса в мощной туче.** Пусть по полученным значениям радиолокационной отражаемости от большого влагонащенного облака [2] необходимо сделать количественную оценку водозапаса в облаке, чтобы определить ожидаемую мощность дождя.



Предположим, что по значениям радиолокационной отражаемости получены следующие данные для облака цилиндрической формы: радиус ( $R_{об}$ ) облака = 100 км, высота ( $H_{об}$ ) облака = 3 км, средняя плотность облака ( $\sigma$ )=1 г/м<sup>3</sup>. Объем ( $V$ ) воды, содержащейся в облаке (форма облака примерно представляет собой цилиндр) равен:  $V = H_{об} \cdot \pi \cdot (R_{об})^2 = 0,3 \cdot \pi \cdot 10^4 \text{ км}^3$ . Масса, воды содержащейся в таком объеме:  $m_{\text{воды}} \approx 0,3 \cdot 10^4 \cdot \pi \cdot \text{км}^3 \cdot 1 \text{ г/м}^3 \approx 0,942 \cdot 10^4 \text{ т}$ . Площадь дождя:  $S_d \approx \pi \cdot R_{об}^2 = \pi \cdot 10^4 \text{ км}^2$ . Время дождя выберем из интервала  $\tau_d \cong 10 \text{ мин} \div 2 \text{ часа} = (10 \div 120) \text{ мин}$ ,  $\tau_d = 60 \text{ мин}$ . Таким образом, оценка плотности потока дождя в секунду имеет вид:

$$Z \approx m_d / \tau_d \cdot S_d = 0,942 \cdot 10^5 \text{ т/60 мин} \cdot 3,14 \cdot 10^4 \text{ км}^2 = 0,71 \cdot 10^{-9} \text{ т/м}^2 \text{сек}^2. \quad (1)$$

Входные данные для расчета стекания воды вдоль рельефа:

- 1) карта горного рельефа, заданная линиями равных высот (ЛРВ), изображенными с каким-то шагом;
- 2) положение вершины горы  $V$ ;
- 3) положение шести точек  $A, B, C, D, E, F$  (через каждые 60 градусов) на ЛРВ, обозначающей самую большую высоту.
- 4) Предполагаемая мощность дождя (либо снеготаяния)  $Z$  [кг/м<sup>2</sup>·с] — масса воды, попадающая на единицу площади за единицу времени.
- 5) Длительность дождя (снеготаяния)  $t \in [0, N\tau]$ .
- 6) Шаг по времени  $\Delta t = \tau$ .

**Алгоритм расчета процесса стекания ливневых потоков реку вдоль рельефа.** Предлагается следующий алгоритм расчета:

1. Соединяются отрезками вершина горы  $V$  с шестью заданными точками на ближайшей линии равных высот (ЛРВ), как показано на рис. 1.

2. С каждой из этих шести точек ( $A, B, C, D, E, F$ ) нужно проделать следующее: строить окружности малого радиуса с центром в каждой из точек  $A, B, C, D, E, F$ , постепенно увеличивая радиус, до тех пор, пока текущая окружность не коснется в какой-то точке  $K$  следующей ЛРВ, обозначающей меньшую высоту (рис. 2).

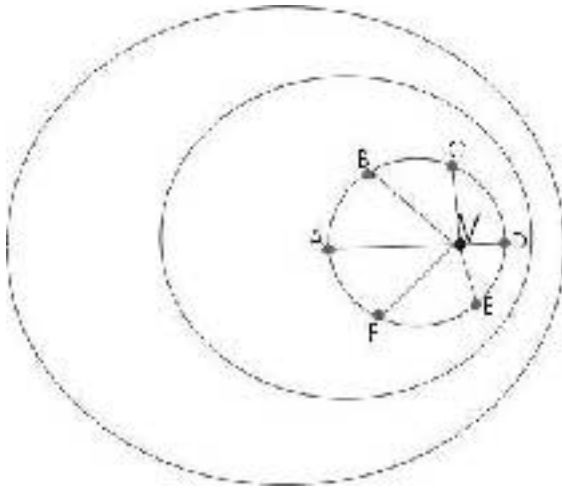


Рис. 1. Гора, представленная линиями равных высот на 1-м шаге алгоритма.

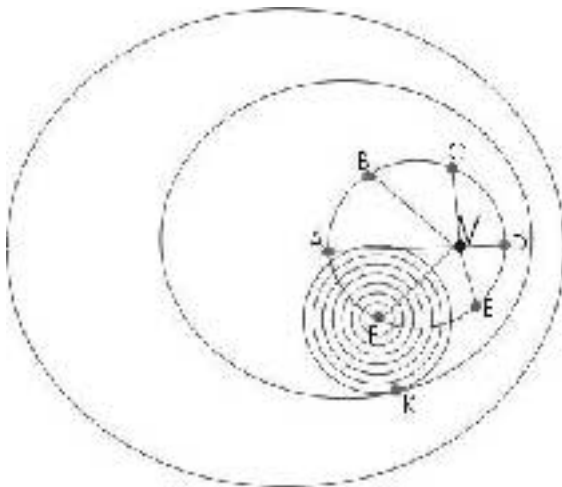
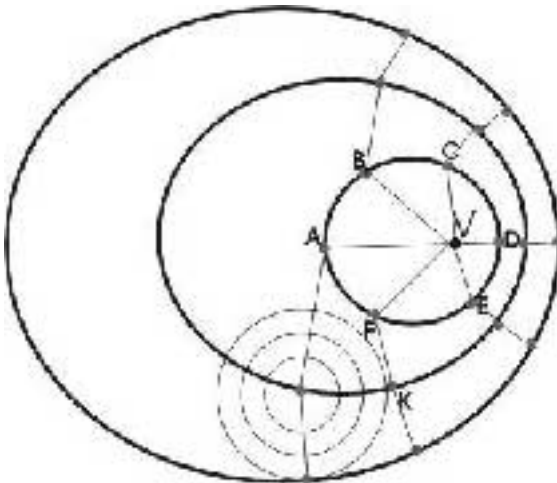


Рис. 2. Гора, представленная линиями равных высот на 2-м шаге алгоритма.

3. Соединить линией точку  $F$  и  $K$ .

4. Строить окружности малого радиуса с центром в новой точке  $K$ , постепенно увеличивая радиус, до тех пор, пока текущая окружность не коснется в какой-то точке следующей ЛРВ, обозначающей меньшую высоту. Соединить линией точку  $K$  и новую точку.

Так продолжать действовать по алгоритму, пока не будет достигнуто подножье горы. В результате соединения всех найденных точек получится так называемая «паучья сеть», представляющая собой пересечение ЛРВ с полученными ортогональными траекториями (см. рис. 3). Ортогональные траектории (либо геодезические линии) — это кратчайших путь для достижения водой соседнего нижнего уровня (линии равных высот), т. е. это путь, по которому будет стекать вода с горы.



*Рис. 3. Построение «паучьей сети» ортогональных траекторий.*

Построенные ортогональные траектории разбивают поверхность горы на отдельные сектора. Предполагается, что стекшая с одного из секторов вода попадает в реку.

**Уравнение установившегося плавно изменяющегося движения жидкости.** При движении жидкости в открытом русле (в том числе в частично заполненном закрытом русле) любое местное измене-

ние условий движения (расширение, преграда, перелом уклона дна русла и т. п.) неизбежно приведет к деформации живого сечения потока на некоторой (иногда довольно значительной) его длине. При этом все точки свободной поверхности будут по-прежнему находиться под влиянием внешнего давления газовой среды, так что деформация живого сечения потока будет обязательно связана с изменением координат его свободной поверхности.

Рассмотрим установившееся плавно изменяющееся движение жидкости в открытых руслах, при котором изменение основных параметров потока по его длине происходит достаточно плавно. В связи с этим при выводе уравнений движения можно пренебречь составляющими местных скоростей в плоскости живого сечения потока и принять распределение давлений в этой плоскости соответствующим гидростатическому. Предположим также, что работа сил сопротивления при неравномерном и равномерном движении практически одинакова.

В дальнейшем изложении будем иметь в виду, что встречающиеся в инженерной практике открытые русла можно разделить на две категории: призматические и непризматические.

К призматическим руслам относятся русла, в которых основные геометрические параметры потока остаются постоянными по всей длине. Площадь живого сечения потока призматического русла зависит от глубины наполнения русла:  $\omega = f(h)$ .

В общем случае непризматического русла площадь живого сечения потока является функцией двух переменных:  $\omega = f(h, s)$ , где  $h$  — глубина наполнения русла;  $s$  — характерный поперечный размер для данной формы русла (например, для прямоугольного русла — его ширина).

Рассмотрим общий случай установившегося плавно изменяющегося движения жидкости в открытом непризматическом русле (рис. 3). Введем следующие обозначения:

$i = \sin \theta$  — продольный уклон дна русла;

$p_o$  — внешнее давление, обычно равное  $p_{ат}$ ;

$a = il$  — расстояние по вертикали от дна до плоскости сравнения в данном живом сечении.

Принято называть руслом с положительным (прямым) уклоном дна такое русло, у которого абсолютные отметки дна уменьшаются по направлению движения жидкости (т. е. вдоль оси  $l$ ).

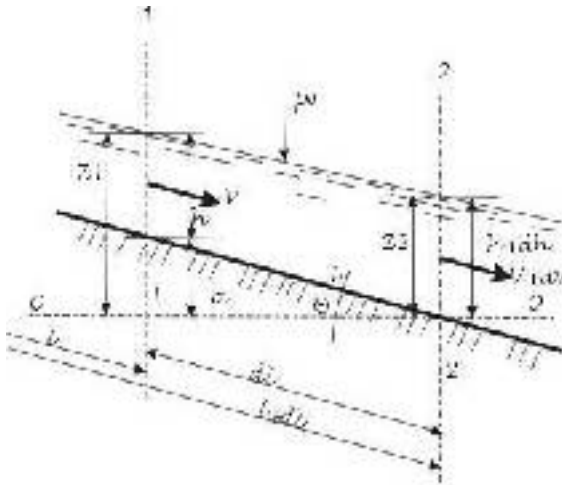


Рис. 4. Продольний срез русла реки.

Выделим в потоке два сечения 1-1 и 2-2 на бесконечно малом расстоянии  $dl$  друг от друга (см. рис. 4).

Составим для выделенных сечений уравнение Бернулли относительно плоскости 0-0, проведенной через нижнюю точку живого сечения 2-2:

$$h + idl + \frac{p_o}{\rho g} + \frac{\alpha v^2}{2g} = h + dh + \frac{p_o}{\rho g} + \frac{\alpha(v + dv)^2}{2g} + dh_{mp}. \quad (2)$$

Простыми преобразованиями получим, что общее дифференциальное уравнение установившегося плавно изменяющегося движения жидкости в открытом русле имеет вид:

$$\frac{dh}{dl} = \frac{i - \frac{Q^2}{\omega^2 C^2 R} + \frac{\alpha Q^2}{g \omega^3} \frac{\partial \omega}{\partial s} \frac{ds}{dl}}{1 - \frac{\alpha Q^2 B}{g \omega^3}}, \quad (3)$$

где  $Q$  — расход потока;  $\omega$  — площадь живого сечения потока;  $h$  — наибольшая глубина потока в данном живом сечении, различ-

ная для разных сечений;  $\alpha$  — коэффициент кинетической энергии (Кориолиса);  $v = Q/\omega$  — средняя скорость в данном сечении;  $J$  — гидравлический принимаемый для открытых русел уклон, обычно равным продольному уклону свободной поверхности

В частном случае призматического русла уравнение (3) несколько упрощается, так как в силу ранее сказанного производная  $ds/dl$  равна в этом случае нулю:

$$\frac{dh}{dl} = i - \frac{Q^2}{\omega^2 C R} \left( 1 - \frac{\alpha Q^2 B}{g \omega^3} \right) \quad (4)$$

После преобразований вычитаемого в знаменателе правой части уравнений (5.6) и (5.8) получим:

$$\frac{\alpha Q^2 B}{g \omega^3} = \frac{\alpha v^2 / g}{\omega / B} = \frac{2\alpha v^2 / 2g}{h_{cp}} \quad (5)$$

где  $h_{cp} = \omega/B$  — средняя глубина сечения.

Таким образом, рассматриваемая дробь представляет собой удвоенное соотношение удельной кинетической энергии к удельной потенциальной энергии при средней глубине потока в данном живом

сечении. Безразмерный комплекс  $\frac{\alpha Q^2 B}{g \omega^3}$  называется параметром

кинетичности потока:  $\Pi_k = \frac{\alpha Q^2 B}{g \omega^3}$ .

Для прямоугольного русла  $h_{cp} = h$  и при  $\alpha=1$  параметр кинетичности представляет собой число Фруда  $Fr = v^2/gh$ , где за характерный линейный размер живого сечения  $l$  принята глубина  $h$ .

**Алгоритм расчета величины паводка реки.** Рассмотрим вычисление значения паводка в условиях стекания в заданную реку воды, выпавшей в виде дождя на горный рельеф, либо образовавшейся в процессе снеготаяния в верховьях горы.

1. Для каждого сектора нужно задать коэффициент впитываемости ( $\beta_i$ ) (например, коэффициент впитываемости песка = 1, камня = 0), определяющий какая часть воды впитается в толщу, а какая часть стечет на нижний сектор.

2. Вычисляется площадь ( $S_i$ ) каждого полученного сектора.

3. Определяется для каждого сектора количество воды, оказывающееся на нем за один шаг по времени:

$$m_i = Z \cdot \tau \cdot S_i + (1 - \beta_{i-1}) \cdot Z \cdot \tau \cdot S_{i-1}. \quad (6)$$

То есть за один шаг по времени на  $i$ -ом секторе будет масса воды, попавшая на этот сектор в результате выпадения дождя (снеготаяния) плюс масса воды, стекшая с верхнего сектора.

Предполагается, что стекшая с одного из участков вода попадает в реку. Если прирост массы воды (например, за один день) будет таким, что повлечет за собой сильный паводок, то река выйдет из берегов, и произойдет затопление прибрежных районов.

Теперь рассчитаем значение паводка реки, в которую стекает с горного рельефа вода.

На рис. 5а изображена река и источник  $S$  (снегозапас или дождевая туча), питающий эту реку. Точка  $O$  — граница источника воды, точка  $A$  — начало населенного пункта.

На рис. 5б изображено сечение русла реки в точке контроля  $A$ , удаленной на расстояние  $X_A$  от нижней конечности зоны источника  $S$ . На этом рисунке ось  $ou$  совпадает с уровнем ледостава (минимальный уровень реки);  $b$  — ширина реки при минимальном уровне воды.

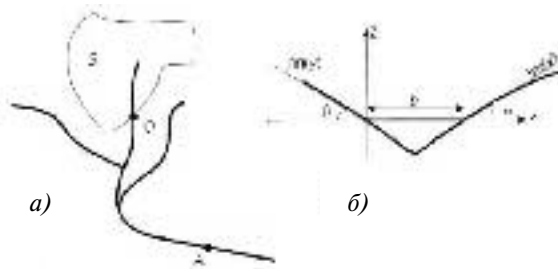


Рис. 5. а) изображена река и источник  $S$  (снегозапас или дождевая туча); б) сечение русла реки в точке контроля  $A$ .

Левый берег можно примерно описать функцией  $h_n(y) = K_n \cdot y - K_n \cdot b$ , а правый — функцией  $h_p(y) = -K_p \cdot y$ , где  $K_n$  и  $K_p$  — соответствующие тангенсы углов наклона  $\alpha$  и  $\beta$  берегов реки.

Если скорость течения  $V_A$  течения известна для точки  $A$  (пусть она  $\approx \text{const}$  во времени), то можно вычислить значение паводка реки при известном приросте массы воды за интервал времени, поступающей в реку, из следующего уравнения:

$$\frac{1}{V_A \cdot \rho_{\text{воды}}} \cdot \frac{dM \left( t - \frac{x_A}{V_A} \right)}{dt} = bz + \int_{y_n(z)}^0 [z - h_n(y)] dy + \int_b^{y_p(z)} [z - h_p(y)] dy. (7),$$

где  $y_n(z)$  — это решение уравнения  $h_n(y) = z$ :

$$-K_n \cdot y = z \cdot y_n(z) = -z/K_n;$$

где  $y_p(z)$  — это решение уравнения  $h_p(y) = z$ :

$$K_p \cdot y - K_p \cdot b = z \cdot y_p(z) = b + z/K_p.$$

Таким образом, пользуясь формулой (7), можно вычислить уровень паводка  $z$  реки для известного прироста массы воды за заданное время и скорости течения в точке  $A$ . Если  $z$  будет таким, что река выйдет из берегов, то по карте рельефа легко определить затопленные территории и вычислить величину экономического ущерба

*Методика расчета снегозапаса в горной местности.* Для того, чтобы подсчитать величину снегозапаса в заданной горной местности необходимо следующее:

- иметь карту рельефа интересующего района без снега;
- иметь карту рельефа интересующего района со снегом;
- вычислить объем рельефа со снегом;
- от полученного объема отнять объем рельефа без снега, в результате чего получим значение объема снегозапаса.

Перейдем к описанию предлагаемой авторами методики оценки снегозапаса, основанной на с использованием аэрофотосъемки заснеженного рельефа и исходной карты изовысот данной местности.



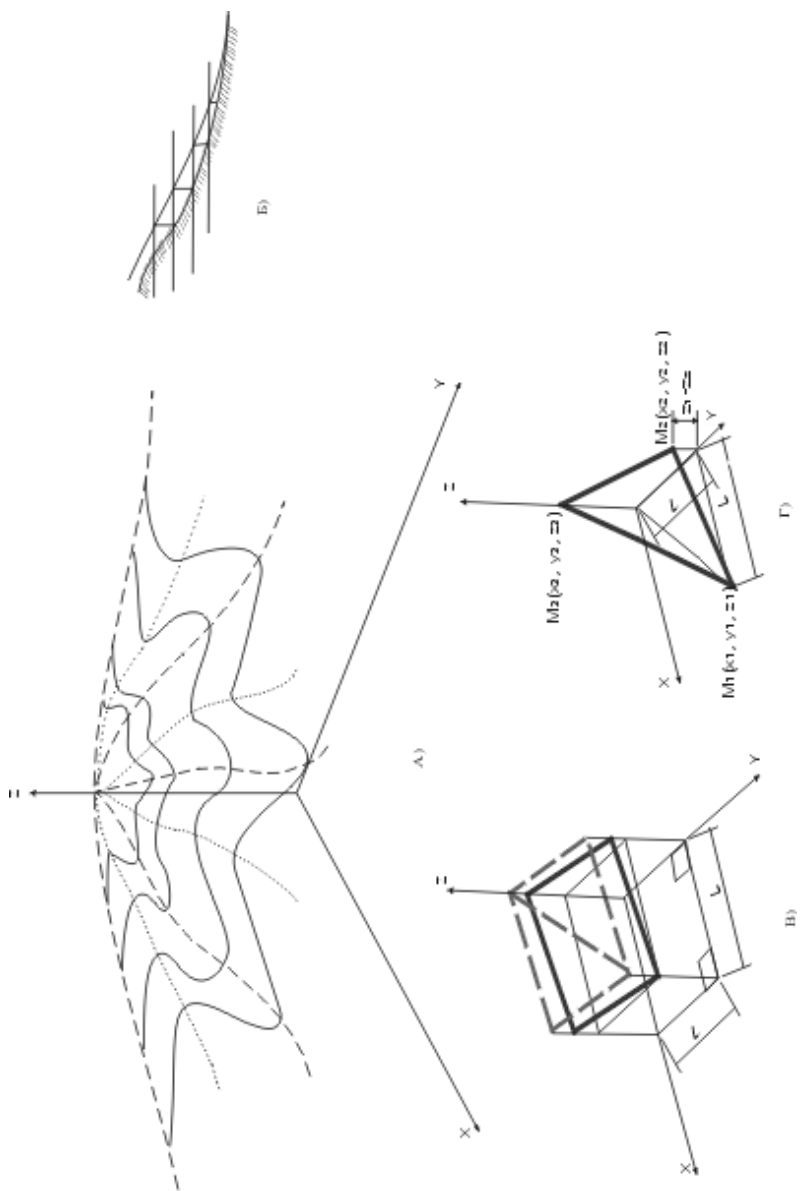


Рис. 6. Представление рельефа изолиниями (А, Б).  
Элементарная часть объема рельефа (В, Г).

На рис. 6а изображена гора в изометрии с нанесенными на ней воображаемыми линиями равных высот, каждая из которых соответствует какому-то значению высоты. На рис. 6б изображен вид сверху на этот же рельеф. На рис. 6в показано получение линий равных высот для рельефа со снегом.

Чтобы подсчитать объем горы с рельефом, разделим условно всю гору на элементарные объемы, вычислим объем каждого из них, а затем просуммируем все полученные значения элементарных объемов (рис. 6в). Для этого на карту с изображением горы в виде линий равных высот рельефа (сплошная линия на рис. 6а) и рельефа со снегом (пунктирная линия на рис. 6а) нанесем сетку. Затем для каждого узла сетки найдем координаты  $x$ ,  $y$ ,  $z_c$  и  $z_p$ .  $z_c$  — третья координата (высота) узла сетки относительно линий равных высот рельефа со снегом,  $z_p$  третья координата (высота) узла сетки относительно линий равных высот рельефа без снега.

Для определения третьей координаты нужно установить к каким двум линиям равных высот ближе всего находится текущий узел сетки и вычислить собственную высоту, на котором он находится по формуле:

$$H = \frac{H_1 + H_2}{2} + \frac{R_1 - R_2}{R_1 + R_2} \cdot \frac{H_2 - H_1}{2}, \quad (8)$$

где  $H$  — высота текущего узла сетки;  $H_1$  и  $H_2$  — значения высот (рельефа со снегом или без), линии которых находятся ближе всех к интересующему узлу;  $R_1$  и  $R_2$  — расстояния от текущего узла до ближайших линий равных высот  $H_1$  и  $H_2$  соответственно.

После того, как все 4 координаты всех узлов сетки получены, можно вычислить элементарные объемы рельефа и рельефа со снегом. Если возьмем часть от элементарного объема, которая показана на рис. 6г, то значение ее объема вычисляется по формуле:

$$V_i = \frac{l^2 \cdot (3(z_3 - z_1)(z_2 - z_1) - (z_2 - z_1)^2 + (z_3 - z_2)^2)}{6}, \quad (9)$$

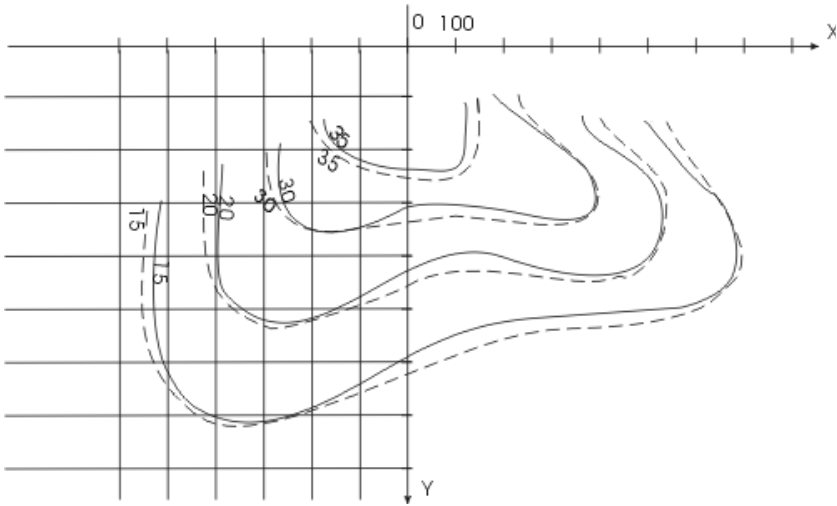
где координаты  $z_i$  ( $i = 1, 2, 3$ ) при вычислении объема рельефа

со снегом представляют собой  $z_{ci}$ , а при вычислении объема рельефа без снега равны  $z_i = z_{pi}$ .

Объем снегозапаса вычисляется по формуле:

$$V = \left( \sum_i V_{i_{\text{снега+рельеф а}}} \right) - \left( \sum_i V_{i_{\text{рельеф а}}} \right). \quad (10)$$

Авторами предложена в работе [1] методика расчета линий равных значений заснеженного рельефа, основанная на использовании результатов авиасъемки данной местности. Эта методика может быть использована при восстановлении пунктирных линий изовысот (рис. 7).



*Рис. 7. Нанесение сетки и считывание координат получившихся узлов сетки.*

Ниже приводится фрагмент листинга авторской программы, которая производит распознавание рельефа: по имеющимся аэро- снимкам определяет реальные параметры рельефа:

unit uPhoto;

```

interface
uses
  Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms,
  Dialogs,
  StdCtrls, ComCtrls, ExtCtrls, Buttons;
...
implementation
uses uSnow;
{$R *.DFM}
var
    Hs, F, A2O2, A1O1, fi1, fi2, hg, alpha,
    b1, bb2, cc1, cc2, dd1, dd2, ss, teta1, teta2, aaa, aprom,
    fi11, fi22, H11, H22, FF, hgg, alphaa, A1O11, A2O22, AN, AK,
    a, b, c, d, fff, g, OA, AO1, AO2, D11, D22, teta11, teta22, OO1, OO2: real;
    ug: integer;

//решение прямой задачи (по данным снимков восстановить
параметры //рельефа )
procedure TfrmStereo.ReliefParam;
begin
    teta1:=arctan(A1O1/F)*180/pi;
    AK:= Hs/(sin(teta1*pi/180)*cos(fi1*pi/180)+ cos(teta1*pi/
180)*sin(fi1*pi/180));
    dd1:=cos(teta1*pi/180)*AK; teta2:=arctan(A2O2/F)*180/pi;
    AN:= Hs/(sin(teta2*pi/180)*cos(fi2*pi/180)+ cos(teta2*pi/
180)*sin(fi2*pi/180));
    dd2:=cos(teta2*pi/180)*AN;
    a:=dd2*A2O2*cos(fi1*pi/180); b:=dd2*A2O2*sin(fi1*pi/180);
c:=dd1*A1O1*cos(fi2*pi/180); d:=dd1*A1O1*sin(fi2*pi/180);
    fff:=a-c; g:=b-d;
    alpha:=-ArcTan (g/fff)*180/pi; hg:=(dd1*A1O1*sin(alpha*pi/180))/
(F*sin(alpha*pi/180
+fi1*pi/180));
    frmStereo.Edit14.Text:=floattostr(hg);
    frmStereo.Edit15.Text:=floattostr(alpha);
end;
//решение обратной задачи (по известным параметрам рельефа
определяем //значения высоты горы на аэроснимке)

```

```
procedure TfrmStereo.PhotoParam;
begin
  OA:=hgg/sin(alphaa*pi/180);
  AO2:=hgg*cos(pi/2-alphaa*pi/180-fi22*pi/180)/sin(alphaa*pi/180);
  AO1:=hgg*cos(pi/2-alphaa*pi/180-fi11*pi/180)/sin(alphaa*pi/180);
  OO2:=sqrt(sqr(OA)-sqr(AO2));OO1:=sqrt(sqr(OA)-sqr(AO1));
  D22:=(H11-hgg)/sin(fi22*pi/180)-OO2;D11:=(H11-hgg)/
sin(fi11*pi/180)-OO1;
  teta22:=(180/pi)*ArcTan(AO2/D22);A2O22:=
  (sin(teta22*pi/180)/cos(teta22*pi/180))/FF;
  teta11:=(180/pi)*ArcTan(AO1/D11);A1O11:=
  (sin(teta11*pi/180)/cos(teta11*pi/180))/FF;
  frmStereo.Edit6.Text:=floattostr(A1O11);frmStereo.Edit8.Text:=floattostr(A2O22);
end;
procedure TfrmStereo.SpeedButton2Click(Sender: TObject);
begin
  fi22:=strtofloat(Edit13.Text);FF:=strtofloat(Edit11.Text);fi11:=strtofloat(Edit9.Text);
  H11:=strtofloat(Edit10.Text);hgg:=strtofloat(Edit12.Text);
  alphaa:=strtofloat(Edit16.Text);
  PhotoParam;
end;
procedure TfrmStereo.SpeedButton1Click(Sender: TObject);
begin
  fi1:=strtofloat(Edit1.Text);Hs:=StrtoFloat(Edit2.Text);A1O1:=strtofloat(Edit3.Text);
  F:=strtofloat(Edit4.Text);fi2:=strtofloat(Edit5.Text);A2O2:=strtofloat(Edit7.Text);
  RelefParam;
end;
end.
```

\* \* \*

1. *Писаренко В.Г., Писаренко Ю.В.* Некоторые задачи проектирования геоинформационных систем апргнозирования метеобедствий. — К.: ТОВ «Аримойя», 2002. — 105 с.

2. *Шметер С.М.* Термодинамика и физика конвективных облаков. — Л.: Гидрометеоиздат, 1987. — 268 с.

*Отримано: 12.09.2008 р.*

УДК 551.465

## РАСПОЗНАВАНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЙ МОРСКИХ АКВАТОРИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИСКУССТВЕННЫХ ДЕШИФРОВОЧНЫХ ПРИЗНАКОВ

*Г.Я. Красовский, д-р техн. наук  
(Институт проблем национальной безопасности  
РНБО Украины)*

*А.Н. Трофимчук, д-р техн. наук  
(Институт телекоммуникаций и  
глобального информационного пространства  
НАН Украины)  
В.А. Слободян  
А.Н. Брашеван  
Национальный аэрокосмический университет  
им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»)*

*Предложен алгоритм автоматического распознавания типов загрязнений на морской поверхности, основанный на методе выделения признаков по взаимной корреляции выделенного контура и контуров тестовых фигур. Разработанная методика дает возможность с достаточной вероятностью определить характер аномального явления морских акваториях.*

*Запропоновано алгоритм автоматичного розпізнавання типів забруднень на морській поверхні, оснований на методі виділення ознак по взаємній кореляції виділеного контуру й контурів тестових фігур. Розроблена методика дає можливість із достатньою ймовірністю визначити характер аномального явища морських акваторіях.*

*The algorithm of automatic recognition of types of pollution on the sea surface, based on a method of allocation of signs on mutual correlation of the allocated contour and contours of test figures is offered. The developed technique gives the chance with sufficient probability to define character of the abnormal phenomenon sea water areas.*

### **Введение**

Основными факторами антропогенного загрязнения моря являются: речной сток; береговой сток; абразия берегов; разливы

© Г.Я. Красовский, А.Н. Трофимчук, В.А. Слободян, А.Н. Брашеван, 2008

нефти и нефтепродуктов разного происхождения [1]. В первую очередь, интенсивному загрязнению подвергаются прибрежные воды. Для повышения эффективности мониторинга их экологического состояния необходимо быстро и эффективно определять тип загрязнений, а также их генезис и следствия. Это можно сделать на основе тематического дешифрирования космических снимков.

Базируясь на практическом опыте тематической обработки космических снимков с разными типами загрязнений, выделены наиболее информативные естественные дешифровочные признаки каждого типа загрязнения, характерные для Черного и Азовского морей. Все они систематизированы и описаны словесно [2]. Однако, для эффективного мониторинга морских акваторий оказывается недостаточным применение только естественных дешифровочных признаков. Для автоматизации процесса идентификации аномального явления на морской поверхности необходимо выделение искусственных дешифровочных признаков.

### **1. Исследование информативности тестовых фигур с применением вероятностного анализа признаков**

Для достижения цели предложен метод выделения признаков по взаимной корреляции исследуемого контура и контуров набора тестовых фигур. Такой подход использовался, например, в распознавании рукописного текста [3, 4]. На основе полученных в [5] результатов разработан алгоритм автоматического определения типа загрязнения.

Корреляционный анализ тестовых фигур показал, что из 10 предложенных фигур (рис. 1) для дальнейшего анализа целесообразно использовать 8, т.к. две из них коррелированы со всеми остальными фигурами [5].

Используя метод, описанный в [5], были сформированы выборки данных для каждого типа загрязнения. Загрязнения одного типа были объединены в суммарную выборку. По полученным данным строились гистограммы, определялись значения математического ожидания и дисперсии каждого класса при исследовании каждой тестовой фигуры. Анализ показал, что исследуемые законы распределения можно считать нормальными (рис. 1.1).

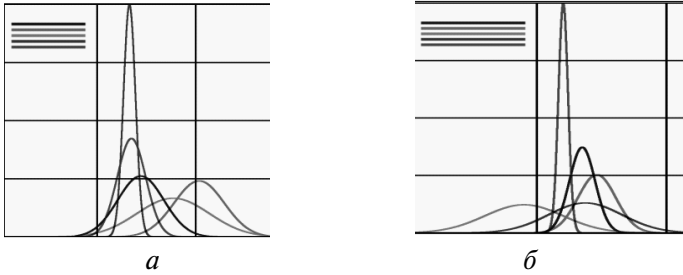


Рис. 1.1. Плотности распределения типов загрязнения для квадрата (а) и пятиугольника (б)

Для дальнейшего анализа в качестве решающего правила был выбран байесовский классификатор (1.1) [6]. Со статистической точки зрения он соответствует оптимальному качеству классификации.

$$P(a_k|\vec{x}) = \frac{f(\vec{x}|a_k)}{\sum_{j=1}^M f(\vec{x}|a_j)} \quad (1)$$

где  $P(a_k|\vec{x})$  — апостериорная вероятность.

Расчет вероятностей по формуле Байеса дал возможность сформировать матрицы ошибок определения типов загрязнений по каждой тестовой фигуре. Анализ полученных результатов позволил выделить наиболее информативные тестовые фигуры — треугольник, квадрат и пятиугольник. Вероятность правильного распознавания типов загрязнений по этим фигурам варьируют от 0,6 до 0,9 (табл. 1.1).

## 2. Алгоритм распознавания типов загрязнений морских акваторий

Результаты корреляционного и вероятностного анализа использовались для построения алгоритма определения типов загрязнений морских акваторий (рис. 2.1). Процесс распознавания причины аномального явления на морской поверхности включает в себя следующие этапы:



**Таблица 1.1 — Матрицы ошибок по выделенным тестовым фигурам**

	ПЯТИ-УГОЛЬНИК	Абразия берега	«Цветение» фитопланктона	Речной сток	Нефтяные загрязнения	Береговой сток
		1	2	3	4	5
1	Абразия берега	0,31	0,06	0,11	0,26	0,26
2	Цветение фитопланктона	0,06	0,80	0,12	0,01	0,01
3	Речной сток	0,19	0,45	0,16	0,09	0,10
4	Нефтяные загрязнения	0,01	0	0	0,85	0,14
5	Береговой сток	0,18	0	0,01	0,46	0,35
	КВАДРАТ	Абразия берега	«Цветение» фитопланктона	Речной сток	Нефтяные загрязнения	Береговой сток
		1	2	3	4	5
1	Абразия берега	0,62	0,18	0,01	0	0,18
2	Цветение фитопланктона	0,35	0,51	0,01	0,05	0,08
3	Речной сток	0,08	0,03	0,77	0,01	0,12
4	Нефтяные загрязнения	0,24	0,28	0,19	0,12	0,16
5	Береговой сток	0,05	0	0,01	0	0,93

1. Получение космических снимков Черного и Азовского морей;
2. Выделение контура аномального участка на морской поверхности;
3. Преобразование контура фигуры в развертку;
4. Аппроксимация контура;
5. Создание математической модели выделенного контура;
6. Расчет коэффициентов корреляции исследуемого пятна и отобранных для анализа тестовых фигур (треугольник, квадрат, пятиугольник);
7. Расчет вероятностей типов загрязнений по одномерным, двумерным и трехмерным плотностям распределения;
8. Определение максимального значения вероятности и принадлежности исследуемого пятна к одному из классов загрязнений.

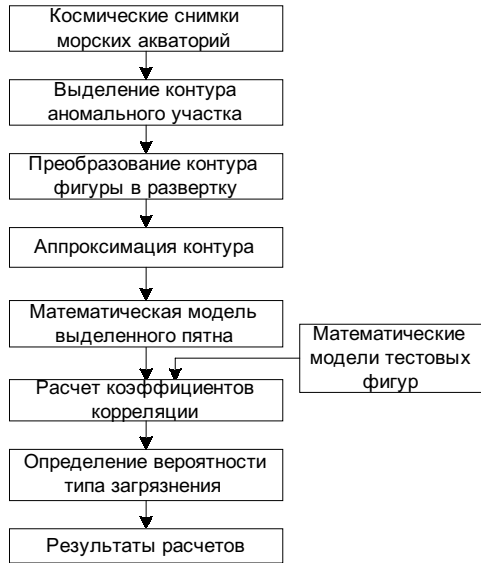


Рис. 2.1. Алгоритм распознавания типов загрязнений.

Перспективность использования методов дистанционного зондирования для решения задач мониторинга морских акваторий основана на возможности регистрации современной дистанционной аппаратурой широкого спектра значащих параметров водной среды. К ним относятся, прежде всего: вариации гидрооптических характеристик, в первую очередь цвета и мутности; изменения гидродинамических параметров; вариации температуры. Примеры регистрации гидрооптических параметров морских акваторий средствами дистанционного зондирования представлены на рис. 2.2, 2.3.



Рис. 2.2. Речные стоки.



Рис. 2.3. Абразия берега.

**Выделение на космических снимках участков водной поверхности** достигается применением линейной разделительной функции  $d(x)$  [1]

$$X(I) \in \begin{cases} w_1, \text{если } d(I) < 0 \\ w_2, \text{если } d(I) \geq 0 \end{cases},$$

где  $d(x) = W_0 + W_2 I_2 + W_3 I_3$ ,  $I_2$  и  $I_3$  — зональные яркости изображения соответственно в каналах съемки К2 и К3;  $W_0$ ,  $W_2$ ,  $W_3$  — постоянные коэффициенты (компоненты вектора  $\vec{W}$ ), значения которых приблизительно оценивают по двумерной гистограмме яркости.

Уточнение значений компонентов вектора  $\vec{W}$  достигается при помощи итеративных процедур теории распознавания образов, например, методами коррелирующих приращений или наименьшей квадратичной ошибки.

**Картографирование пятнистости** акваторий состоит в выделении участков космических изображений водной поверхности с однородными в заданном смысле характеристиками спектральной яркости. В общем случае по одному спутниковому изображению может быть построено некоторое множество картографических моделей, отличающихся степенью генерализации показателей пятнистости акватории. Известен ряд публикаций, посвященных разработке алгоритмов выделения на космических снимках акваторий границ однородных природных образований [2]. В рассматриваемых приложениях для этой цели можно использовать класс алгоритмов, основанных на байесовских решающих правилах [2]

$$P(\omega_i | \gamma) = \frac{\rho(u | \omega_i) \cdot \rho(\omega_i)}{\sum_{i=1}^{km} \rho(u | \omega_i) \cdot \rho(\omega_i)}.$$

Здесь  $\rho(\omega_i)$  — априорная вероятность того, что поверхностные воды на участке  $S_p$  относятся к классу  $\omega_i$ ;  $\rho(u | \omega_i)$  — условная плотность распределения яркости участка в состоянии  $\omega_i$ ;  $P(\omega_i | \gamma)$  — апостериорная вероятность.

Это правило используется при принятии решения об отнесении рассматриваемого элемента к одному из классов множества.

Для решения поставленной задачи необходимо выполнить построение статистической модели выделенных параметров изображения [7]. Однако, законы распределения реальных экспериментальных данных являются многомодовыми (мультимодальными).

Одним из методов аппроксимации многомодовых законов распределения является применение смесей нормальных распределений вида [7]

$$f(x) = \sum_{k=1}^M p_k \cdot \varphi_k(x) = \sum_{k=1}^M p_k \cdot \frac{\exp\left\{-\frac{(x-m_k)^2}{2 \cdot \sigma_k^2}\right\}}{\sqrt{2 \cdot \pi \cdot \sigma_k^2}},$$

где  $M$  — количество нормальных ядер  $\varphi_k(x)$ ,  $m_k$ ,  $\sigma_k$  — параметры  $k$ -го нормального распределения  $\varphi_k(x)$ ,  $p_k$  — весовые коэффициенты, обеспечивающие выполнение требования

$$\int f(x)dx = 1.$$

Процедура нахождения параметров  $M$ ,  $m_k$ ,  $\sigma_k$ ,  $p_k$  основывается на минимизации среднеквадратической ошибки аппроксимации.

В качестве экспериментальной оценки плотности вероятности используется гистограмма экспериментальных данных.

Построение многомодовой статистической модели данных включает в себя следующие этапы:

1. определение количества составляющих в смеси распределения  $M$ ; определение статистических оценок параметров  $m_k$ ,  $\sigma_k$  для каждой из мод распределения  $k=1..M$ ;
3. определение весовых коэффициентов для каждой из составляющих смесь распределения  $p_k$ ,  $k=1..M$ .

В данной работе необходимо выделить аномальный участок на поверхности морских акваторий. Для решения этой задачи используется метод, описанный в [8]. Здесь учитываются параметры

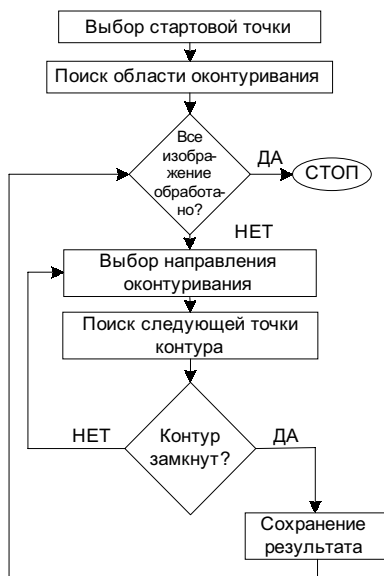


Рис. 2.4. Алгоритм векторизации выделенного пятна.

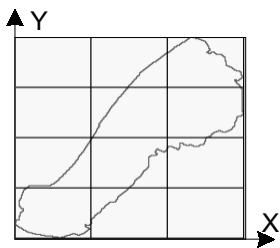


Рис. 2.5. Контур речного стока

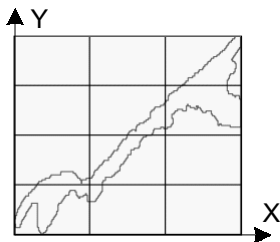


Рис. 2.6. Контур абразии берега.

обработки: размер окружения пиксела при усреднении интенсивности (установка чувствительности) и допустимого отрезка значений изменений цвета.

Выделенный аномальный участок необходимо оконтурить, а контур векторизовать. Для решения этой задачи был разработан **алгоритм векторизации контуров** выделенных участков, представленный на рис. 2.4. В результате оконтуривания аномальных пятен в файл сохраняются координаты каждой точки контура ( $x_i, y_i, i=1, N$ , где  $N$  — количество точек контура).

Результаты применения разработанного алгоритма представлены на рис. 2.5, 2.6. На рис. 2.5 приведен контур речного стока, выделенного со снимка, представленного на рис. 2.2. На рис. 2.6 приведен контур абразии берега, полученный в процессе обработки снимка, представленного на рис. 2.3.

На рис. 2.7, 2.8 представлены развертки контуров (рис. 2.5, 2.6 соответственно) по осям X и Y. Полученные данные использовались для аппроксимации выделенных контуров.

Для **аппроксимации** контура использовался метод наименьших квадратов [6]:

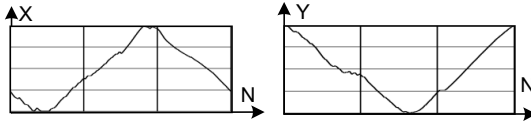


Рис.2.7. Развертка по осям X и Y контура речного стока.

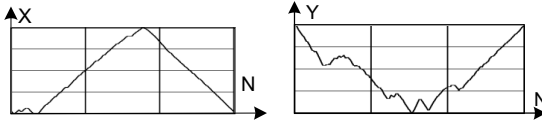


Рис.2.8. Развертка по осям X и Y контура абразии берега.

$$F(x) = a_0 + ax + a_2x^2 + \dots + a_Nx^N,$$

$$F(y) = b_0 + by + b_2y^2 + \dots + b_Ny^N$$

где  $a_N, b_N$  — коэффициенты аппроксимации,  $x_N, y_N$  — координаты каждой точки исследуемого контура.

На рис. 2.9, 2.10 представлены аппроксимированные контуры.

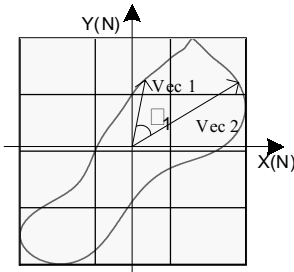


Рис. 2.9. Аппроксимированный контур речного стока.

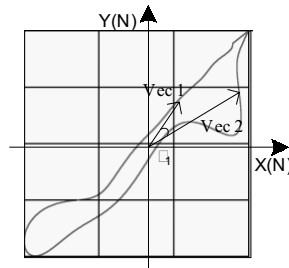


Рис. 2.10. Аппроксимированный контур абразии берега.

Для проведения следующих исследований строилась **математическая модель контура**, при этом исследовалась зависимость вектора (vec) (от начала координат до каждой точки контура) от приращения угла между соседними векторами ( $\theta$ ) (рис. 2.9, 2.10). В результате формируются математические модели, вид которых представлен на рис. 2.11, 2.12.

$$vec_i = \sqrt{x_i^2 + y_i^2},$$

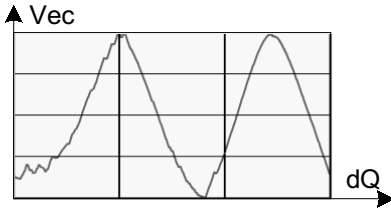


Рис. 2.11. Математическая модель контура речного стока.

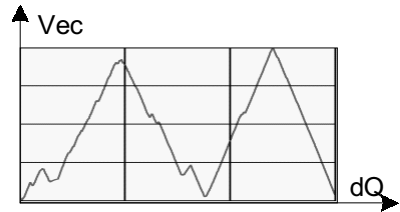


Рис. 2.12. Математическая модель контура абразии берега.

$$\cos \theta_i = \frac{x_i \cdot x_{i+1} + y_i \cdot y_{i+1}}{\sqrt{((x_i^2 + y_i^2) \cdot (x_{i+1}^2 + y_{i+1}^2))}},$$

$$Vec(\theta) = \sum_{i=1}^N vec_i \cdot \theta^i$$

Расчет коэффициентов корреляции между исследуемым пятном и предложенными тестовыми фигурами дает значения функции  $f(x_1, x_2, x_3|k)$ . Расчет проводился по формуле [9]:

$$r_{12} = \frac{K(x_1, x_2)}{\sigma_{x_1} \cdot \sigma_{x_2}}; \quad -1 \leq r \leq 1,$$

где  $r_{12}$  — нормированный коэффициент корреляции,

$$\begin{aligned} K_{12} &= K(x_1; x_2) = M[\dot{x}_1 \cdot \dot{x}_2] = \\ &= \int \int_{-\infty}^{\infty} (x_1 - \bar{x}_1) \cdot (x_2 - \bar{x}_2) \cdot f(x_1, x_2) dx_1 dx_2. \end{aligned}$$

Вероятности типов загрязнения рассчитывались по одномерным (2.1), двумерным (2.2) и трехмерным (2.3) плотностям распределения [9].

Одномерная плотность распределения:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}}. \quad (2.1)$$

Двумерная плотность распределения:

$$f(x_1, x_2) = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sigma_1 \cdot \sigma_2 \cdot \sqrt{1 - r_{12}^2}} \times \exp \left\{ - \frac{\left( \frac{x_1 - m_1}{\sigma_1} \right)^2 - 2r_{12} \cdot \left( \frac{x_1 - m_1}{\sigma_1} \right) \cdot \left( \frac{x_2 - m_2}{\sigma_2} \right) + \left( \frac{x_2 - m_2}{\sigma_2} \right)^2}{2 \cdot (1 - r_{12}^2)} \right\}, \quad (2.2)$$

где  $r_{12} = \frac{K_{12}}{\sigma_1 \sigma_2}$  нормированный коэффициент корреляции  $x_1$  и  $x_2$  [1].

Трёхмерная плотность распределения:

$$f(\vec{x}) = \frac{1}{(2\pi)^{\frac{M}{2}} |K|^{1/2}} \times \exp \left\{ - \frac{1}{2} \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M |K_{ij}| \cdot (x_i - m_i) \cdot (x_j - m_j)}{|K|} \right\}, \quad (2.3)$$

где  $M=3$ ;  $|K|$  — определитель матрицы  $[K]$ ;  $|K_{ij}|$  — алгебраическое дополнение элемента  $K_{ij}$ .

В качестве решающей функции выбрана формула Байеса (1.1).

Определение вероятности типа загрязнения дал следующие результаты:

по одномерным законам распределения

$$P_{\text{речного стока}} = 0,49, \quad P_{\text{абразии берега}} = 0,45;$$

по двумерным законам распределения

$$P_{\text{речного стока}} = 0,66, \quad P_{\text{абразии берега}} = 0,75;$$

по трёхмерным законам распределения

$$P_{\text{речного стока}} = 0,87, \quad P_{\text{абразии берега}} = 0,92.$$



### Заклучение

В статье предложен алгоритм распознавания типов загрязнений Черного и Азовского морей с применением тестовых фигур. Решение данной задачи обосновано необходимостью автоматизировать процесс космического мониторинга морских акваторий. Анализ полученных экспериментальных результатов показал, что применение разработанного алгоритма позволяет идентифицировать типы загрязнений с достаточной вероятностью, что дает возможность автоматизировать процесс распознавания аномальных явлений на морской поверхности.

\* \* \*

1. *Красовский Г.Я., Петросов В.А.* Інформаційні технології космічного моніторингу водних екосистем і прогнозу водоспоживання міст. — К.: Наук. думка, 2003. — 224 с.

2. *Красовский Г.Я.* Аэрокосмический мониторинг поверхностных вод. — Л.: ВНИИКАМ, 1992. — 231с.

3. *Гонсалес Р., Дж. Ту.* Принципы распознавания образов: Пер. с англ. — М.: Мир, 1978. — 416 с.

4. *Прэтт У.* Цифровая обработка изображений: Пер. с англ. — М.: Мир, 1982. — Кн. 2. — 480 с.

5. *Слободян В.А.* Исследование информативности тестовых фигур с применением корреляционного анализа // *Авиационная и космическая техника и технология.* — 2008. — № 2 (49). — С. 89—92.

6. *Вентцель Е.С., Овчаров Л.А.* Теория случайных процессов и ее инженерные приложения. — М.: Высш. шк., 2000. — 383 с.

7. *Брашеван А.Н.* Статистическая модель многомодовых экспериментальных данных // *Радиоэлектронные и компьютерные системы.* — 2003. — № 2. — С. 82—85.

8. *Гелецян Д.* Векторизация растровых изображений.

9. *Математические модели электронных аппаратов и систем / М. Ф. Бабаков, А. В. Попов, М. И. Луханин.* — Учеб. пособие. — Харьков: Нац. аэрокосмический ун-т «Харьк. авиа. ин-т», 2003. — 109 с.

*Отримано: 17.09.2008 р.*

УДК 676.12

**УТИЛИЗАЦИЯ ФИЛЬТРАТОВ,  
ОБРАЗУЮЩИХСЯ ПОСЛЕ УПЛОТНЕНИЯ СКОПА  
ВЛАЖНЫХ ОСАДКОВ, КОТОРЫЕ ОБРАЗУЮТСЯ  
НА ЛОКАЛЬНЫХ СООРУЖЕНИЯХ  
КАРТОННО-БУМАЖНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

*Н.Д. Гомеля, д-р техн. наук, проф.*

*Т.В. Крысенко, канд. техн. наук*

*А.С. Коваль, канд. техн. наук*

*(Национальный технический университет Украины  
«Киевский политехнический институт»)*

*Установлено, что катионные флокулянты типа «Перкол», «Цетаг» и «Полимин СК» и анионные флокулянты типа «Магнофлок» при использовании в концентрациях 0,1—50 мг/дм<sup>3</sup> не токсичны для активного ила Бортнической станции аэрации и очистных сооружений ОАО «ККБК». Изучены фильтраты из установки по обезвоживанию скопа и показано, что их характеристики изменяются в широких пределах в зависимости от характера оборотных вод, из которых отделяется скоп. Показано, что возврат фильтратов в поток оборотных вод позволит снизить расход реагентов на обработку воды.*

*Встановлено, що катіонні флокулянти типу «Перкол», «Цетаг» та «Полімін СК» та аніонні флокулянти типу «Магнофлок» при використанні в концентраціях 0,1—50 мг/дм<sup>3</sup> не токсичні для активного мулу Бортничівської станції аерації та очисних споруд ВАТ «ККПК». Вивчено фільтрати з установки по зневодненню скопу та показано, що їх характеристики змінюються в широких межах залежно від характеру оборотних вод, з яких відділяється скоп. Показано, що повернення фільтратів в потік оборотних вод дасть можливість знизити витрату реагентів на обробку води.*

*Is established, that cation flocculant of a type «Percol», «Magnofloc», «Zetag» and «Polimin SK» at use in concentration 0,1—50 mg/dm<sup>3</sup> not toxical for active silt Bortnichy station of aeration and clearing structures OJC «KCPK».*

© Н.Д. Гомеля, Т.В. Крысенко, А.С. Коваль, 2008

*Are investigated filtrates from installation on dehydration sediment and is shown, that their characteristics change over a wide range depending on character of reclaimed waters, from which is separated sediment. Is shown, that the return filtrates in a flow of reclaimed waters will allow to lower the expenditure of reagents on processing of water.*

Известно, что содержание взвешенных веществ в оборотных водах производства бумаги и картона изменяется в широких пределах, в зависимости от вида продукции, типа и качества сырья, использования вспомогательных химических веществ. Изменяются и другие характеристики оборотных вод, такие как: содержание растворенных органических веществ, ХПК воды, реакция среды (рН), жесткость воды, содержание минеральных веществ, зольность взвешенных веществ [1]. Все вышеперечисленные характеристики влияют, конечно, и на качество фильтрата, получаемого при обезвоживании скопа. Известно, что в зависимости от условий отстаивания, качества воды, поступающей на локальные очистные сооружения, объем влажного осадка может изменяться от 8—10% до 20—30% от объема оборотной воды [2, 3]. Поэтому фильтрат, в основном, состоит из оборотной воды и взвешенных веществ, не удержанных при обезвоживании осадка. Кроме характеристик оборотных вод на качество фильтрата, который выделяется при обезвоживании скопа, влияет режим обезвоживания, влажность обезвоженного скопа, которая может изменяться от 60—70% до 50%.

В целом фильтрат характеризуется высокой мутностью, высокими значениями ХПК осветленной воды, содержанием растворенных неорганических веществ. Очевидно, что фильтрат содержит остаточные концентрации катионных флокулянтов, используемых для обработки скопа перед подачей на обезвоживание.

Если судить по основным характеристикам фильтрата, то очевидно, что его нельзя подавать на повторное использование в производство. Возможность сброса его в канализацию на биологические сооружения зависит от содержания в нем токсичных веществ. Определить такие вещества анализом очень сложно, учитывая сложность химического состава фильтрата. К тому же определенные вещества могут значительно усиливать свои токсические свойства в смеси. Поэтому целесообразно изучить влияние фильтрата на активный ил биологических сооружений.

Наилучшим способом утилизации фильтрата является его подача на локальные очистные сооружения. Это приведет к определенной рециркуляции воды на очистных сооружениях, но уменьшит нагрузку на биологические очистные сооружения.

Активный ил Бортнической станции аэрации (БСА) характеризуется высоким биоразнообразием, невысоким иловым индексом и высокой способностью к биоокислению примесей в воде при условиях аэрации. Поэтому этот активный ил с концентрацией 7,7 г/дм<sup>3</sup>, иловым индексом 115,2 см<sup>3</sup>/г, индексом последовательного сравнения 0,73 был использован для оценки влияния фильтратов с установки обезвоживания скопа.

Фильтрат, который имел концентрацию взвешенных веществ 2600 мг/дм<sup>3</sup>, оказался совсем не токсичным для активного ила. Ни в одном из опытов не отмечено ухудшения качества ила, массовой смерти микроорганизмов. Очень высокие значения индекса последовательного сравнения получены независимо от времени аэрации. Хорошие показатели илового индекса говорят о том, что никакого, даже наименьшего действия, данный фильтрат на активный ил не оказывает.

Для изучения процессов осветления фильтрата отстаиванием были использованы фильтраты с концентрацией взвешенных веществ 4142 мг/дм<sup>3</sup> и 1900 мг/дм<sup>3</sup>. Фильтраты после интенсивного перемешивания с реагентом отстаивали в течение 2 часов. В работе были использованы коагулянты (сульфат алюминия, алюминат натрия, гидроксохлориды алюминия) в дозах 10—100 мг/дм<sup>3</sup> (по Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) и флокулянты («Перкол», «Цетаг», «Магнофлок», «Полимин СК») в дозах 2—10 мг/дм<sup>3</sup>. Результаты приведены в табл. 1.

Как видно из табл. 1, фильтрат эффективно осветляется при отстаивании без реагентов, степень осветления достигала 91%. Реагенты позволяют повысить степень осветления только до 95—96%. При этом наибольшей эффективностью обладают коагулянты. Флокулянты обеспечивают повышения степени осветления только до 94%. Очевидно, такое небольшое влияние реагентов обусловлено тем, что при обработке скопа флокулянтами основная масса отрицательно заряженных взвешенных и коллоидных веществ, содержащиеся в воде и осадке, уже сфлокулированы. При этом поверхностные заряды частиц в основном нейтрализованы.

Таблица 1 — Влияние реагентов на эффективность осветления фильтрата ( $C_{\text{взв. в.}} = 4142 \text{ мг/дм}^3$  и  $C_{\text{взв. в.}}^* = 1900 \text{ мг/дм}^3$ ) отстаиванием

№ п/п	Коагулянт	Доза, Д, мг/дм <sup>3</sup> , (по Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	Мутность осветл. фильтрата, М, мг/дм <sup>3</sup>	Объем осадка, V <sub>ос.</sub> , мл/дм <sup>3</sup>	Степень осветления, Z, %
1	2	3	4	5	6
1	—	—	360	450	91.3
			255*	50*	86.6*
2	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	70	330	490	92.0
			172*	30*	90.9*
3	NaAl(OH) <sub>4</sub>	70	245	210	94.1
			220*	52*	88.4*
4	Al(OH)Cl <sub>2</sub>	70	176	290	95.8
			172*	55*	90.9*
5	Al(OH) <sub>2</sub> Cl	70	150	420	96.4
			167*	54*	91.2*
6	Al <sub>2</sub> (OH) <sub>5</sub> Cl	70	142	520	96.6
			153*	56*	91.9*
7	Перкол-178	5	405	360	90.2
			145*	52*	92.4*
8	Перкол-455	5	245	425	94.1
			167*	30*	91.2*
9	Цетаг 7632	5	294	367	92.9
			145*	52*	92.4*
10	Магнот лок 336	5	353	347	91.5
			205*	50*	89.2*

Поэтому катионные и анионные флокулянты и коагулянты близки по своей эффективности. Эффективность сульфата алюминия, дающего положительно заряженные золи, близка к алюминату натрия, который дает отрицательно заряженные золи. Следует отметить, что при осветлении фильтрата с концентрацией взвешенных веществ 4142 мг/дм<sup>3</sup> большей эффективностью по сравнению с флокулянтами обладают коагулянты, а при осветлении фильтрата с концентрацией взвешенных веществ 1900 мг/дм<sup>3</sup> флокулянты и коагулянты близки по своей эффективности. Возможно, это объясняется повышенным содержанием каолина в первом фильтрате, который осаждается коагулянтами лучше, чем флокулянтами.

В целом, следует отметить высокую эффективность осветления при отстаивании фильтратов без использования реагентов и относительно небольшое влияние коагулянтов на эффективность осветления фильтратов.

Если сравнить коагулянты между собой, можно отметить более высокую эффективность гидроксохлоридов алюминия. Среди флокулянтов несколько эффективней осветление обеспечивали флокулянты Перкол-178 и Перкол-455.

В реальных условиях работы локальных очистных сооружений нецелесообразно строить отдельные аппараты для очистки фильтрата. Целесообразно подавать фильтрат на вход локальных очистных сооружений, смешивая его со сточными водами. Однако очевидно, что процессы отстаивания смеси фильтрата со сточными водами будут проходить не так, как отстаивание самого фильтрата. Главным отличием фильтрата от оборотной воды является относительно большое содержание в нем катионных флокулянтов, что оказывает содействие флокуляции примесей и лучшему отстаиванию. По этой причине использование реагентов при осветлении оборотной воды и ее смеси с фильтратом должно быть более эффективным.

В данном случае использовали сточную воду картонного цеха, мутность которой составляла  $1023 \text{ мг/дм}^3$ , рН — 7.4, и фильтрат от установки обезвоживания скопа с концентрацией взвешенных веществ  $2600 \text{ мг/дм}^3$ , рН — 8.4. Воду смешивали с фильтратом в соотношении 4:1, т.е., на долю фильтрата приходилось 20% объема смеси. Для сравнения влияния реагентов на смесь фильтрата с оборотной водой были проведены исследования по изучению влияния реагентов на оборотную воду картонного цеха.

Оборотная вода, несмотря на более низкую концентрацию взвешенных веществ по сравнению с фильтратами, отстаивается значительно хуже. Степень осветления без использования реагентов достигает только 66,6%. В случае с сульфатом алюминия и алюминатом натрия эффективность осветления возросла только до 73—75% при повышении доз (по  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) до  $70 \text{ мг/дм}^3$ . При использовании гидроксохлоридов алюминия в дозах 30—70  $\text{мг/дм}^3$  степень осветления возросла до 85—90%. При использовании анионного флокулянта «Магнофлок 336» эффективность осветления не превышала 82%. Кроме этого следует отметить, что использование

реагентов для интенсификации осветления оборотной воды картонного производства обеспечивало больший эффект по сравнению с фильтрами, образованными при обезвоживании скопа. Очевидно, это связано с флокулирующим действием остатков катионных флокулянтов, содержащихся в фильтрате. Концентрация взвешенных веществ в смеси фильтрата и оборотной воды составила 1359 мг/дм<sup>3</sup>. Результаты осветления этой смеси отстаиванием приведены в таблице 2.

**Таблица 2 — Эффективность осветления смеси фильтрата и оборотной воды картонного цеха при использовании коагулянтов и флокулянтов**

№ п/п	Реагент	Доза, мг/дм <sup>3</sup> , (по Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	Мутность, мг/дм <sup>3</sup>	Объем осадка, см <sup>3</sup> /дм <sup>3</sup>	Степень осветления, %
1	—	—	118	120	91,5
2	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	30	102	130	92,7
3	Al(OH)Cl <sub>2</sub>	30	92	135	93,4
4	Al <sub>2</sub> (OH) <sub>5</sub> Cl	30	85	115	93,9
5	NaAl(OH) <sub>4</sub>	30	105	130	92,4
6	Перкол — 455	5	98	125	92,9
7	Перкол — 178	5	97	128	93,0
8	Магнофлок 336	5	115	130	91,7
9	Полимин СК	5	102	135	92,7

Особенность этого процесса состоит в том, что резко повысилась эффективность осветления воды отстаиванием без использования реагентов. Возможно, что в этом случае фильтрат содержал определенные остатки катионных флокулянтов, что способствовало флокуляции примесей в оборотной воде картонного производства. В данном случае при отстаивании необработанных реагентами фильтратов степень осветления достигала 91%. Однако, использование реагентов в данном случае позволило существенно снизить остаточные концентрации взвешенных веществ, в отличие от отстаивания фильтратов. Очевидно, что при возврате фильтрата в поток оборотных вод можно снизить расходы реагентов на обработку воды. Расход реагента в значительной степени будет зависеть от соотношения объемов оборотных вод фильтрата. А это в свою

очередь будет зависеть от концентрации осадков, которые образуются на локальных очистных сооружениях. При этом эта концентрация будет тем ниже, чем выше эффективность осветления воды. В этом случае в осадок переходят очень мелкодисперсные и коллоидные примеси, которые плохо уплотняются, что приводит к увеличению объема осадка и снижению его концентрации.

### **Выводы**

1. Установлено, что катионные флокулянты типа «Перкол», «Магнофлок», «Цетаг», «Полимин СК» при использовании в концентрациях 0,1—50 мг/дм<sup>3</sup> не токсичны для активного ила Бортнической станции аэрации и очистных сооружений ОАО «ККБК».

2. Изучены фильтраты из установки по обезвоживанию скопа и показано, что их характеристики изменяются в широких пределах в зависимости от характера оборотных вод, из которых отделяется скоп. Отмечено хорошее осветление при отстаивании. При использовании коагулянтов при дозах 10—70 мг/дм<sup>3</sup> (по Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) и флокулянтов при 2—10 мг/дм<sup>3</sup> эффективность процессов осветления фильтратов, а также их смеси с оборотными водами повышается (более 90%).

3. Показано, что возврат фильтратов в поток оборотных вод позволит снизить расход реагентов на обработку воды.

\* \* \*

1. *Копылов В.А.* Очистка сточных вод и уплотнение осадков целлюлозно-бумажного производства. — М.: Лесная пром-сть, 1983. — 176 с.

2. *Апельцина Е.И., Аганва Е.И.* Физико-химические методы очистки воды и обработки осадков. — М.: Стройиздат, 1985. — 124 с.

3. *Применение флокулянтов при подготовке осадков сточных вод к обезвоживанию / Л.П. Анисимова, В.И. Южин, С.С. Быкова, Н.В. Вдовина / Бумажная промышленность. — 1989. — № 1. — С. 19—20.*

*Отримано: 2.09.2008 р.*



УДК 778.19

**ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ  
СУЧАСНИХ ПРИСТРОЇВ СКАНУВАННЯ  
ДЛЯ ПЕРЕНЕСЕННЯ ГЕОІНФОРМАЦІЇ  
З ГАЛОГЕНІДОСРІБНИХ НОСІЇВ НА ЦИФРОВІ**

*С.М. Андрєєв, канд. техн. наук  
(Національний аерокосмічний університет  
ім. М.Є. Жуковського (ХАІ))  
В.А. Жилін, канд. техн. наук  
(Українська інженерно-педагогічна академія)  
С.М. Трохимчук  
(Українська інженерно-педагогічна академія)*

*На підставі аналізу сучасних технічних засобів сканування зображень показана можливість їх широкого застосування для перенесення геоінформаційних даних з галогенідосрібних накопичувачів інформації на цифрові. Пропонується підхід до використання сенситометричних показників для оцінювання похибки відтворювання детальності у сканованому зображенні. Приведені експериментально отримані залежності похибки відтворювання детальності у сканованому іконічному зображенні поверхні Землі від розрізнення скануючого пристрою.*

*На основании анализа современных технических средств сканирования изображений показана возможность их широкого применения для переноса геоинформационных данных с галогенидосеребряных накопителей информации на цифровые. Предлагается подход к использованию сенситометрических показателей для оценки погрешности воспроизведения детальности в сканированном изображении. Приведены экспериментально полученные зависимости погрешности воспроизведения детальности в сканированном иконическом изображении поверхности Земли от разрешения сканирующего устройства.*

*On the basis of the analysis of modern means of scanning of images the opportunity of their wide application for carry of details from argentiferous stores of the information on digital is shown. The approach to use of*

© С.М. Андрєєв, В.А. Жилін, С.М. Трохимчук, 2008

*parameters for an estimation of an error of reproduction of detail in the image after scanning is offered. Experimentally received dependences of an error of reproduction of detail in the image of a surface of the Earth from the sanction of the scanner are resulted.*

Сучасна динаміка накопичування, обробки та зберігання інформації воліє застосування цифрових (електронних) засобів, що, зокрема, обумовлено такою вимогою як оперативність щодо копіювання та розповсюдження певних матеріалів по зацікавлених інституціях.

Дотепер нагальною є потреба перенесення інформації з паперових та галогенідосрібних носіїв на прозорих та непрозорих основах до носіїв цифрових, тобто безпосередньо сумісних з комп'ютерними системами. Принаймні, у цьому безпосередньо зацікавлена переважна більшість існуючих інформаційних систем баз даних, зокрема державні системи обліку, зберігання та обробки статистичних і архівних даних, державні служби технічного захисту інформації, геоінформаційні системи, тощо.

При цьому слід зауважити, що перехід до отримання інформації одразу на цифрові носії (наприклад, іконічних зображень поверхні Землі в системах дистанційного зондування та повітряної розвідки) відбувається саме у теперішній час. Принаймні, щодо системи взаємного міждержавного спостереження за міжнародною програмою Open Skyes, то перші сертифікаційні польоти з цифровою апаратурою повітряного спостереження відбулись у перші роки XXI століття [1]. Проте для прогнозування еколого-економічного розвитку, просторово-часових змін ландшафту, розвитку зон екологічного ризику тощо, тобто для повноцінного функціонування систем геоінформаційного моніторингу вочевидь необхідно мати технічну можливість перенесення на цифрові носії інформацію, що було накопичено раніше з використанням аналогових носіїв, найпоширенішими з яких є галогенідосрібні, тобто аерофотоплівки, аерофотоплатівки, аерофотопапери.

Аналіз сучасних пристроїв сканування щодо придатності для оцифровки іконічних зображень

На сьогодні такими пристроями, що будь-які зображення на папері або прозорій плівці переводять у цифрову форму, майже нехильну до втрат якості при копіюванні та зберіганні, є сканери.

Враховуючи різноманітність технологій сканування та велику кількість моделей пристроїв вводу зображень, вони можуть бути класифіковані за наступними ознаками:

- спосіб формування зображення (лінійний, матричний);
- конструкція кінематичного механізму (ручний, настільний, комбінований);
- тип зображення, що вводиться (чорно-білий, напівтоновий, кольоровий);
- ступінь прозорості оригіналу (відбиваючий, прозорий);
- апаратний інтерфейс (стандартний, спеціалізований).

Класифікація пристроїв для сканування зображень приведена на рис. 1.

При класифікації сканерів враховуються конструктивні особливості приладів і, відповідно, деякі відмінності в процесах сканування. На відміну від традиційних засобів сканування, зображення в відеосистемах і цифрових фотокамерах для захоплення зображення тримірних об'єктів, як правило, застосовується матриця датчиків. Незважаючи на велику кількість пристроїв вводу зображення, їх можна класифікувати за наступними ознаками:

*Кінематичний механізм.* За цим пристроєм сканери підрозділяють на дві основні групи — ручні та настільні.

*Ручні сканери* можуть бути використані для сканування малоформатних зображень оригіналів або фрагментів великого зображення. Низька ціна обумовлена простотою їхньої конструкції. Необхідність застосування м'язової сили людини, а також обмеження поля охоплення зображення — основні особливості цих пристроїв. До недоліків слід віднести, насамперед, неточність сканування, обумовлену саме принципом використання.

*Настільні сканери.* До цієї категорії належать планшетні, роликіві, барабанні та проєкційні сканери.

*Планшетні сканери.* В цих сканерах (плаского типу) робочу ділянку сканування утворює пласка скляна поверхня. Як правило вони використовуються в настільних видавничьких системах для виводу графіки і тексту з носіїв формату А4 або А3.

*Роликіві сканери* (інша назва — протяжні, листові). В них оригінал послідовно, лінія за лінією пропускається через ролики механізму подачі паперу і потрапляє в поле зору лінійки датчиків.

*Барабанні сканери.* Цей вид сканерів дорогий, але з їх допо-

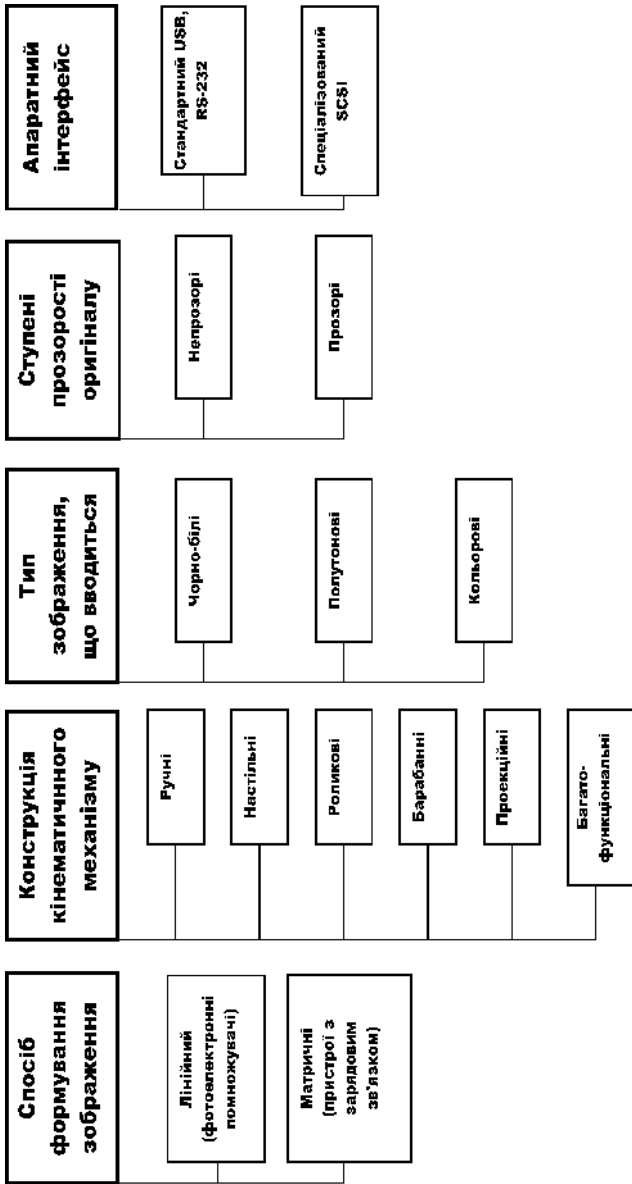


Рис. 1. Класифікація пристроїв для сканування зображень.

могою можливо отримати зображення з високим ступенем деталізації, які в свою чергу можуть бути використані для подальшого ретушування, кольоровиділення і, нарешті, формування кінцевого варіанта подання листа видання або плівки для виготовлення відбитка пластини.

*Проекційні сканери* нагадують фотозбільшувач і працюють майже як фотографічна камера. Основною особливістю проекційних сканерів є можливість сканування тримірних об'єктів.

Перша функція сканера — служити мостом між папером і електронним документообігом. Незважаючи на те, що всі документи зберігаються в електронному (цифровому) вигляді, деякі з них повинні розсилатися і підшиватися у надрукованому вигляді на папері, підписаному керівником і затвердженому круглою печаткою.

Крім тексту, до розряду документів належать нескладні рисунки, графіки, схеми, що не потребують для свого відображення високої якості. Для цих випадків використання сканера покриває 80% можливого його застосування.

На долю інших 20% припадає високоточне сканування зображень як надрукованих на папері (фотопапері), так і негативів та слайдів на прозорій підкладці.

В процесах сканування фотографій між сканером і комп'ютером циркулюють величезні об'єми інформації, і, отже, необхідні високошвидкісні засоби передачі даних, потужні програмні графічні пакети та швидкі комп'ютери (графічні станції) [1].

Все вищесказане відноситься переважно до центрів обробки геоінформації, отриманої за допомогою повітряного спостереження, що оперує відбитками, які дорівнюють площам понад декілька сотень квадратних кілометрів [2]. Проте при загальній приблизній рівності характеристик сканерів деякі з них, залежно від призначення, придатні до вирішення завдань обробки будь-якої статистичної інформації, у тому числі іконічної інформації високої детальності, а саме:

а) *протяжний сканер* — дешевий, компактний офісний сканер, відмінний від найпростішого ручного сканерау наявністю протягування листа паперу. В практиці нагадує принтер. Але замість друкуючого картриджу сканер забезпечений лінійною ПЗС (привід з зарядним зв'язком CCD), рідше лінійкою (КМОП SIS), ще рідше сканування йде за двома координатами точковим датчиком.

Прикладом останнього приладу може служити приставка до фотопринтера Canon, що вставляється замість картриджу. Тут процес сканування є повною інверсією кольорового друку і зображення сканується по ширині при русі каретки, а по висоті — при переміщенні паперу. Формат документа може досягати А3. Додаткова перевага протяжного сканера в тому, що до нього, як до принтера можна завантажити стопку документів і вони послідовно скануватимуться без участі людини. Основний недолік — неможливість сканування матеріалів на твердій основі;

б) *планшетний сканер* — найпоширеніший тип сканера, що закривається кришкою, під яким ходить каретка з освітлювачем і лінійкою ПЗС, рідше КМОП. Тип світлоприймача не так давно визначався з міркувань економії вартості і габаритів по висоті сканера, але тепер практично завжди використовуються ПЗС лінійки. Важливим етапом був перехід на швидку (з порівняно повільною шиною паралельного порту) шину USB. Недолік — велика площа, що зайнята на робочому місці, біля 150% від формату оброблюваного документа. Найпотужніші планшетні сканери мережного підключення, так само як і протяжні, забезпечуються механізмами автоматичної подачі листів;

в) *слайд-приставка до планшетного сканера* — додатковий блок (модуль), що встановлюється на його контактне скло, дає змогу сканувати на просвіт матеріали на прозорій основі (слайди та негативи). Звичайно, тут присутній другий освітлювач, що вмикається при відключенні трубчастої лампи під контактним склом, але існують і витонченіші оптичні схеми, що направляють світло від нижньої лампи через сканований зразок. У зв'язку зі зниженням вартості слайд-приставок другий варіант пристрою зараз не застосовується.

Принципових недоліків у слайд-приставок два:

- недостатній для сприйняття фотоматеріалу динамічний діапазон світлоприймача (тут фотоприймач на базі КМОП взагалі не застосований),

- недостатнє розрізнення;

г) *слайд-сканер* — позбавлений недоліків слайд-приставки, оскільки розрахований виключно на сканування прозорих (на просвіт) зразків малого (в порівнянні з А4) формату, навіть слайдових негативів 6х9. Особливістю слайд-сканерів є велика глибина різкості

їх оптики, що дає можливість отримати високе розрізнення при скануванні з кольорового негатива. Побутові розраховані на 35 мм плівку і коштують порівняно недорого — 200—300 ум. од., а професійні можуть приймати будь-який формат плівок будь-якої довжини, проте коштують від 1000 до декількох тисяч (десятків) ум. од. До ціни, крім того, входить ціна вельми дорогого програмного забезпечення. Такого, наприклад, що забезпечує видалення з зображення слідів пилу і неглибоких подряпин оригіналу. Високе розрізнення і великий формат професійних слайд-сканерів вимагають використання для передачі даних у комп'ютер швидкісних шин типу SCSI Firewire і USB 2.0. Недолік — неможливість сканування кольорових фотографій і документів.

д) *флеш-сканер* або цифровий фотоапарат як сканер (оптична насадка на об'єктив цифрового фотоапарату) дозволяє знімати 35мм слайд або негатив на цифровий носій. Перевага — невелика ціна та миттєвість результату оцифрування при якості, аналогічній звичайній цифровій фотографії. Недолік знімків — відблиск від спалаху, який дає глянцева поверхня оригіналу, проте його можна подолати за допомогою двох дифузних софітів. Технічні характеристики розповсюджених типів сканерів приведено у таблиці 1 [2]. На підставі аналізу типів документів, які обробляються з метою обліку статистичної інформації, пропонується насамперед використовувати такі типи сканерів:

- планшетний — для обробки документів на паперовій основі;
- плівочний — для обробки документів на основі різних видів плівок.

На вибір типу сканера впливає кольорова характеристика зображення та тип носія графічної інформації, а також ступінь прозорості оригіналу. Зрозуміло, що вибір сканера також обумовлюється співвідношенням ціна/продуктивність.

Найважливішою характеристикою скануючого пристрою є розрізнявальна здатність, що може визначатись також його частотно-контрастною характеристикою.

Розрізнення в пікселях — це характеристика, прийнята в еру комп'ютерів. До цього в телебаченні його виміряли числом рядків на екрані, а ще раніше у фотографії — числом ліній (елементів зображення) на міліметр. Точки на дюйм (dpi) як одиниці розрізнявальної здатності використовуються для принтерів та ска-

Таблиця 1 — Технічні характеристики розповсюджених типів сканерів

Найменування моделі	Еpson Perfection 1670 Photo	Еpson Perfection 3200 Photo	HP ScanJet 3970	Cannon CannonScan FS4000US	Minolta DIMAGE ScanEhtc	Nikon Super COOLSCAN
Тип сканера	планшетний	планшетний	планшетний	плівковий	плівковий	плівковий
Використовуваний датчик	CCD	CCD	CCD	CCD	CCD	CCD
Оптичне розрізнення, dpi	1600	3200	2400	4000	5400	4000
Апаратне розрізнення, dpi	1600х3200	3200х6400	2400х2400	4000х4000	5400х5400	4000х4000
Глибина представлення кольору, біт	48	48	48	42	48	48
Інтер'єси	USB 2.0	USB 2.0 FireW	USB 1.1	USB 1.1 SCSI-2	USB 2.0 FireWire	FireWire
Слайд-адаптер в комплекті	+	+	+	н/д	н/д	н/д
Кількість оброблених 35 мм плівок	3	12	3	6	6	6
Технологія видалення пилю	HID	HID	-	FARE	Digital ICE	Digital ICE
Габаритні розміри, мм	275х419х64	304х476х122	298х472х90	92х368х144	65х360х165	н/д
Середня роздільна ціна, ум. од.	125	390	135	875	1019	1700



Оцінка похибки відтворення детальності

Тип АФМ	Розрізнення АФМ, л/мм	Розмірність розрізнення	Висота застосування							
			300				500			
Тип 42	110		<b>Розрізнення</b>							
		dpi	1200	2400	4800	7200	9600	1200	2400	4800
		л/мм	48	96	192	288	384	48	96	192
			<b>Розрізнення сканованого</b>							
	л/мм	33,4	51,3	69,9	79,6	85,51	33,4	51,3	69,9	
Тип АФА	Фокусна відстань, м		<b>Детальність</b>							
ПА 420	0,09	до сканування	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,025	0,025	0,025
		після сканування	0,050	0,033	0,024	0,021	0,019	0,083	0,054	0,040
		різниця	0,035	0,017	0,009	0,006	0,004	0,058	0,029	0,014
		відн. похибка, %	69,6	53,4	36,4	27,6	22,3	69,6	53,4	36,4
АФА 41/10	0,1	до сканування	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,023	0,023	0,023
		після сканування	0,045	0,029	0,021	0,019	0,018	0,075	0,049	0,036
		різниця	0,031	0,016	0,008	0,005	0,004	0,052	0,026	0,013
		відн. похибка, %	69,6	53,4	36,4	27,6	22,3	69,6	53,4	36,4
АФА 41/20	0,2	до сканування	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,011	0,011	0,011
		після сканування	0,022	0,015	0,011	0,009	0,009	0,037	0,024	0,018
		різниця	0,016	0,008	0,004	0,003	0,002	0,026	0,013	0,007
		відн. похибка, %	69,6	53,4	36,4	27,6	22,3	69,6	53,4	36,4

**в процесі оцифровки аерофільму**

<b>аерофотоапарату, м</b>											
<b>1000</b>						<b>2000</b>					
<b>сканера</b>											
7200	9600	1200	2400	4800	7200	9600	1200	2400	4800	7200	9600
288	384	48	96	192	288	384	48	96	192	288	384
<b>аерофотозображення</b>											
79,6	85,51	33,4	51,3	69,9	79,6	85,51	33,4	51,3	69,9	79,6	85,51
<b>аерофотозображення, м</b>											
0,025	0,025	0,051	0,051	0,051	0,051	0,051	0,101	0,101	0,101	0,101	0,101
0,035	0,032	0,166	0,108	0,079	0,070	0,065	0,332	0,217	0,159	0,140	0,130
0,010	0,007	0,116	0,058	0,029	0,019	0,014	0,231	0,116	0,058	0,039	0,029
27,6	22,3	69,6	53,4	36,4	27,6	22,3	69,6	53,4	36,4	27,6	22,3
0,023	0,023	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045	0,091	0,091	0,091	0,091	0,091
0,031	0,029	0,150	0,098	0,071	0,063	0,058	0,299	0,195	0,143	0,126	0,117
0,009	0,007	0,104	0,052	0,026	0,017	0,013	0,208	0,104	0,052	0,035	0,026
27,6	22,3	69,6	53,4	36,4	27,6	22,3	69,6	53,4	36,4	27,6	22,3
0,011	0,011	0,023	0,023	0,023	0,023	0,023	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045
0,016	0,015	0,075	0,049	0,036	0,031	0,029	0,150	0,098	0,071	0,063	0,058
0,004	0,003	0,052	0,026	0,013	0,009	0,007	0,104	0,052	0,026	0,017	0,013
27,6	22,3	69,6	53,4	36,4	27,6	22,3	69,6	53,4	36,4	27,6	22,3

нерів. Проте вони мають у два рази більші значення в порівнянні з лініями на дюйм, адже під лінією розуміється сама лінія і проміжок між нею і сусідньою, а під точкою — тільки сама точка. Тобто при оцінці це означає, що ліній на дюйм в два рази менше, ніж точок. Виміряти їх можна вставивши в сканер тест-об'єкт (зображення чорних і білих смуг різної ширини від одного міліметра до одного мікрона) і подивитись на моніторі при максимальному збільшенні відтворення цього тест-об'єкта (міри).

Там, де вже не можна відрізнити світлу смужку від темної, розрізнення відсутнє і, отже, робоче розрізнення сканера рівне попередньому значенню кількості ліній на дюйм. Розрізнення визначається за яскравістю або за зеленим каналом (кривій видимості), оскільки око найбільш чутливе до цієї зони спектра. Можна надрукувати міру на принтері і за допомогою лупи (краще мікроскопа) визначити, де закінчується розрізнення принтера. Але у такому разі присутня методична помилка — на принтер виводиться вже спотворене сканером зображення. Взагалі-то ланцюжок може бути ще довшим: об'єктив плівкового фотоапарата — плівка — об'єктив збільшувача (мікрооб'єктив) — фотопапір (мікрофільм) — сканер — принтер.

Для того щоб оцінити внесок кожної ланки репродукційного процесу до втрати розрізнення, використовують частотно-контрастну характеристику (ЧКХ), що показує, як зменшується контраст між світлими і темними смугами із збільшенням просторової частоти (кількості ліній на дюйм). Вона схожа на амплітудно-частотну характеристику і дозволяє встановити, яку ланку в ланцюзі треба вдосконалити в першу чергу, щоб підняти сумарне розрізнення всього процесу репродукції [3].

Розрізнення залежить від контрасту зображення. При нульовому контрасті його просто немає, а при абсолютному контрасті розрізнення максимальне. Контраст, або коефіцієнт контрастності — це тангенс кута нахилу кривої тонопередачі (так званої характеристичної кривої) на прямолінійній ділянці. Ідеальна крива тонопередачі — це пряма лінія, що починається з початку координат під кутом 45 градусів. Але якщо репродукційний процес не ідеальний, то замість прямої лінії вийде крива — звідси і назва. Якщо кут менший, то відбувається втрата контрасту, більший — контраст неприродно високий.

Аналізуючи характеристичну криву, можна дізнатися про процес репродукції. При недостатній експозиції яскравість у копії нижча, ніж в оригіналі, а оскільки діапазон відтворення обмежений, всі темні деталі втрачаються — вони передаються однаковими, тому що контраст дорівнює нулю. При перетримці темні деталі відтворюються повністю, проте втрачаються світлі. Відповідно, різкий контраст передачі приводить до лінійних спотворень, а спотворення градаційної характеристики — до нелінійних, пряма перетворюється на ламану.

Координати кожного кольору на такому тлі виражають відтінок (Hue) від фіолетового до темно-червоного, насиченість кольору (Saturation) від безбарвного до максимально чистого кольору і яскравість кожного кольору від абсолютно білого до абсолютно чорного (Lightness). У більшості випадків для оцінки точності перенесення кольору застосовують триколірну колориметрію, що дозволяє не тільки заміряти окремі кольори, але і весь процес перетворення кольорів. Основним постулатом колориметричної теорії є той факт, що все різноманіття кольорів можна відтворити, маючи всього три джерела світла: синій, зелений і червоний. Людське око може відрізнити один від одного близько 10 тис. кольорів, але в різних зонах спектру чутливість різна.

Важливою характеристикою кольору є колірний баланс або колірна температура. Око людини легко адаптується до будь-яких умов і визначає білий колір при будь-якому освітленні, чого не можна сказати про фотоплівки і цифрові камери. Так, при збільшенні сонячного світла зображення в копії більш синє, ніж насправді, а при освітленні лампами розжарювання — більш жовте, тобто порушується колірний баланс. Гірше виходить під час знімання в неприродному світлі флуоресцентних, натрієвих і ртутних ламп, оскільки їх колірний баланс не відповідає так званій колірній температурі. Багато в чому колірні спотворення в репродукції проходять не поміченими через властивість колірної пам'яті людини, яка береже зовсім невелику кількість знайомих кольорів, наприклад, колір неба, шкіри обличчя певної національності, зелені, цегляної стінки — ці кольори є вельми критичними і похибки їх перенесення легко виявляються. Похибки передачі решти відтінків при неможливості порівняти репродукцію і оригінал не такі помітні.

Теорія кольорової репродукції встановлює правило порівняння кольорового оригіналу і його копій за допомогою об'єктивних числових параметрів. Стосовно фотопроцесів такий метод носить назву фотографічної сенситометрії. Він дозволяє не тільки дати відповідь на питання про точність кольоровідтворення, але й оптимально побудувати процес аналогової чи цифрової фотографічної репродукції документів.

Щоб максимально повно використовувати можливості наявної апаратури необхідно, щоб крива відтворення нейтрально-сірої шкали являла собою пряму, що виходить із початку координат під кутом 45 градусів.

Це досягається певною настройкою репродукційної апаратури, а саме:

а) яскравості — значення параметра Brightness в сканері і принтері або значення корекції експозиції у фотоапараті (в ручному режимі зйомки);

б) контрасту — значення параметра Contrast або Gamma;

в) колірної насиченості — значення параметра Saturation;

г) колірного балансу — значення колірної температури (або найменування) джерела світла при фотографуванні цифровою фотокамерою (баланс «рівня білого»);

д) різкості — значення необхідного розрізнення в сканері або цифровій камері.

Таким чином, головним параметром при виборі типу пристрою для сканування зображень документальних матеріалів є розрізняльна здатність.

З урахуванням того, що документальні матеріали, які підлягають оцифруванню для подальшої обробки та зберігання, можуть мати елементи іконічної інформації, важливим є питання розрахунку детальності для різних типів сканерів.

На сьогодні існує спеціальний тип сканерів — фотограмметричні, які призначені для обробки рулонних плівкових матеріалів. Перші моделі фотограмметричних сканерів для комерційного використання з'явилися на початку 1990-х рр., коли розвиток комп'ютерної техніки створив передумови для переходу від аналогової фотографічної документації до цифрової. Цифрове фотодокументування протягом декількох років зросло до промислового рівня, поставивши основним завданням питання забезпечення високої точності при скануванні матеріалів іконічних зображень.

Саме фотограмметричні сканери провідних виробників, таких як Leica Geosystems (Швейцарія) і Zeiss (Німеччина), забезпечуючи високу геометричну точність у 2–3 мкм, дозволили цифровому фотодокументуванню вийти з лабораторій в реальне виробництво. Причому вартість таких сканерів досягала декількох сотень тисяч доларів.

Висока вартість спеціалізованих сканерів породила масу дискусій про можливість застосування дешевших поліграфічних і навіть «побутових» сканерів у фотодокументальному виробництві. Принципова можливість такого використання очевидна, але випадкові залишкові погрішності принципово не дають добитися на таких сканерах геометричної точності вище, ніж 10 мкм. Ціна професійних поліграфічних сканерів часто виявляється рівною за ціною молодших моделей фотограмметричних сканерів. Реальна точність сканерів вартістю до 10 тис. дол., звичайно, лежить в межах 20–50 мкм. Проте, навіть такої точності виявляється достатньо для певних застосувань у документальному діловодстві щодо переведення галогенідосрібних мікрофільмокопій в електронний цифровий формат.

Характеристики сучасних моделей фотограмметричних сканерів приведені у таблиці 2 [1, 3].

Різниця в точності між фотограмметричними і звичайними сканерами досягається за рахунок того, що фотограмметричні сканери використовують високоточні датчики лінійних переміщень і сервоприводи зворотнім зв'язком. Датчик лінійних переміщень має розрізнення 0,5–1,0 мкм і гарантовану точність у 2,0–3,0 мкм. Сервопривід використовує прецезійний двигун постійного струму з мікропроцесорним контролером, що дозволяє відстежувати і відпрацьовувати мікронні відхилення в переміщенні. Визначальним чинником точності є технологія виготовлення. Конструктивно фотограмметричний сканер обов'язково має масивну основу, що виготовляється із спеціальної сталі, оброблені і виставлені з високою точністю, прецезійні підшипники і т. д. Окремої уваги заслуговує оптика, адже показники дисторсії у стандартних «побутових» об'єктивів обчислюють у десятках мікрон. У фотограмметричних сканерах використовуються дорогі об'єктиви з малою дисторсією, найчастіше — дзеркальні.

Розглянемо основні особливості конструкції та можливості фотограмметричних сканерів.

Таблиця 2 — Характеристики сучасних моделей фотограмметричних сканерів

Виробник	Leica Geosystems	Z/I Imaging	Vexcel	НПП “Геосистема”
Модель	DSW600	PhotoScan	UltraScan	DeltaScan-5
Тип сенсора	ПЗС - матриця 2000*3000*10 μ m	ПЗС - лінійка 3*5632*7 μ m	ПЗС - лінійка 3*6000*12 μ m	ПЗС - лінійка 3*5120*8 μ m
Формат, мм	260*260	275*250	265*252	260*260
Сканування тільму	автоматичне	автоматичне	автоматичне	автоматичне
Максимальний діаметр тільму, мм	194	194	194	168
Геометрична точність (СКО), мкм	<2	<2	2	2
Мінімальний розмір пікселя, мкм	4,5-22 (з кроком 3 мкм)	7	5	8
Радіометричне розрізнення, біт	12	10	12	12
Діапазон оптичної щільності, D	> 2,5	2,5	3,5	2,7
Освітлювач	Ксенонова стробоскопічна лампа	Галогенна лампа	Люмінісцентна лампа	Потужні світлодіоди
Об'єктив	Лінзовий Schneider 120 mm	Дзеркальний Carl Zeiss	Лінзовий	Дзеркальний “Арсенал”
Швидкість сканування (ч/б)	2 хв при 12,5 мкм	< 6 хв при 14 мкм	16 хв при 10 мкм	6 хв при 16 мкм
Швидкість сканування (колір)	5 хв при 12,5 мкм	< 6 хв при 14 мкм	8 хв при 15 мкм	15 хв при 16 мкм
Джерела інформації в Інтернет	www.dataplus.ru	Imgs.intergra ph.com	www.vexscan	vingeo.com

*Тип сенсора.* Більшість сканерів використовують лінійний світло-чутливий датчик (кольорову ПЗС-лінійку), що складається з декількох тисяч елементів (пікселів), розміром 5–10 мкм кожен. Ширина ПЗС-лінійки визначає смугу на знімку, яку сканер здатний відсканувати за один прохід. Використання площинного фотоприймального елемента (ПЗС-матриці) дозволяє істотно прискорити процес сканування, проте вимагає потужнішого освітлювача і підвищує вимоги до його калібрування.

*Формат.* Стандартом для сканерів є формат кадру, розміром 230х230 мм (ширина фільму 240 мм). Деякі моделі дозволяють сканувати знімки більшого формату, аж до 320х470 мм, наприклад, сканер DeltaScan-470 (НПП «Геосистема»). Цей сканер спеціально призначений для широкоформатних космічних знімків.

*Сканування фільму.* Автоматичне сканування фільму вигідне при значних об'ємах сканування. Оскільки відстань між кадрами фільму може бути різною, то система автоматичного перемотування повинна мати функцію пошуку краю знімка, визначення пропусків і т.д. Цифрові знімки, які відскановані на сканері-автоматі, мають однакові відступи, що значно прискорює подальшу процедуру автоматичного внутрішнього орієнтування. Крім того, сканер-автомат може автоматично виконати вибіркове попереднє сканування всього фільму або його частини для визначення оптимальних параметрів сканування. Фотограмметричний сканер-автомат здатний за 20–30 годин без втручання оператора відсканувати фільм, що містить біля 300 знімків, розміром 240х240 мм.

*Максимальний діаметр фільму.* Стандартний фільм, шириною 240 мм, має довжину 76 м і діаметр 132 мм. Такий фільм містить майже 300 знімків. Фільм подвоєної довжини має діаметр 194 мм і довжину 152 м. Залежно від товщини плівки, ці показники можуть змінюватися. Щодо мікрофільмів розповсюдженого формату 35х1600 мм виробничі потужності фотограмметричних сканерів є безперечною перевагою.

*Геометрична точність* є основним параметром сканера, який визначається за допомогою спеціальної контрольної сітки, нанесеної з мікронною точністю на скляну пластину. В результаті вимірювання (зазвичай автоматичного) декількох десятків хрестів на відсканованому зображенні сітки визначається середньоквад-



ратична похибка сканування. У сучасних сканерів ця похибка не перевищує  $\pm 2$  мкм для кожної координатної осі.

*Мінімальний розмір пікселя.* При використанні дзеркального об'єктива, що зазвичай має збільшення 1:1, мінімальний піксель співпадає з розміром пікселя ПЗС-сенсора. Наприклад, 7 мкм у PhotoScan або 8 мкм у DeltaScan. Інші розміри, кратні мінімальному, виходять за допомогою цифрового складання і усереднювання початкових пікселів. Так, чотири 8-мікронні пікселі (2×2) дадуть у результаті один 16-мікронний. При цьому не відбувається втрати якості зображення, оскільки замість інтерполяції (вставки нових пікселів) виконується зворотна операція (усереднювання), яка крім всього іншого знижує шум зображення. Інші розміри, не кратні мінімальному, можуть бути одержані тільки в результаті програмного перерахунку (ресемплінгу). При цьому завжди відбувається певна втрата якості початкового зображення. Для усунення цієї проблеми деякі сканери мають оптичну систему із змінним збільшенням, яка дозволяє налаштувати сканер на будь-який «базовий» піксель.

Недоліком такого методу є необхідність використання лінзових об'єктивів замість дзеркальних, що вносить додаткові спотворення (дисторсія, аберація) і знижує реальну роздільну здатність системи на малих контрастах.

У практичній роботі дуже рідко використовується сканування з мінімальним розміром пікселя. Звичайне значення пікселя сканування для чорно-білих оригіналів становить 12—24 мкм, а для кольорових — 16—32 мкм. Середньоквадратична помилка, що вноситься в подальші вимірювання за рахунок дискретизації, становить 1/4 розміру пікселя, так що вона відповідає помилці наведення і пізнання оператора (4—6 мкм).

*Радіометричне розрізнення.* Крім геометричної дискретизації (розмір пікселя), сканер також виконує радіометричне квантування, тобто вимірює і переводить у цифровий вигляд яскравість у кожній точці зображення. Чим більше біт використовується при переведенні до цифрового вигляду, тим більше градацій яскравості здатний розрізнити сканер. Так 12-бітовий дозвіл відповідає 4096 градаціям, 10-бітове — 1024 і т. д.

Високий дозвіл дає змогу без втрат сканувати малоконтрастні знімки, витягати інформацію в тінях. Проте надмірне збільшення радіометричного дозволу не дає бажаного ефекту, оскільки дина-

мічний діапазон ПЗС-сенсорів (відношення корисного сигналу до шуму) звичайно не перевищує декількох тисяч. Для зниження рівня шумів деякі виробники, наприклад, Vexel, використовують примусове охолодження ПЗС-лінійки. Власні шуми плівки (зерно) звичайно набагато перевищують шуми відеосистеми сканера і тому часто виявляються вирішальним чинником якості.

*Діапазон щільності.* Такий параметр безпосередньо пов'язаний з радіометричним розрізненням, проте також залежить від інших параметрів, наприклад, потужності освітлювача. Чим ширший діапазон щільності, що приймається, тим з більшою детальністю передаватимуться всі малоконтрастні деталі знімка. Типовий оптичний діапазон знімка лежить в межах 0,1–2,5 D.

*Освітлювач.* Як освітлювач у фотограмметричних сканерах використовують спеціальні лампи або лінійки потужних світлодіодів. Перевагою ламп є великий запас яскравості, що дозволяє «просвічувати» щільніші знімки. Недоліком — значне виділення тепла і спектральна нестабільність (зміна колірного балансу з часом). Світлодіодам притаманна виняткова стабільністю і мала споживана потужність. Крім того, термін їхньої служби набагато перевищує термін служби ламп. Недолік — менший запас яскравості.

*Об'єктив.* Дзеркальні об'єктиви добре передають контраст дрібних деталей і вносять в зображення мінімальні геометричні і спектральні спотворення, але мають фіксоване збільшення 1:1. Перевагою лінзових об'єктивів є змінне збільшення, що дозволяє плавно змінювати мінімальний розмір пікселя.

*Швидкість сканування* — важливий параметр сканера, що є особливо критичним для підприємств, які виконують великі об'єми робіт з обробки документальних матеріалів і поставляють замовникам інформацію в цифровому вигляді.

Розглянуті сканери забезпечують необхідну точність і продуктивність, достатню для їх застосування у практичному цифровому фотодокументальному виробництві. Власне, ці сканери вже тривалий час широко використовуються у всьому світі. Можна сказати, що розвиток фотограмметричних сканерів досяг свого апогею і тому складно чекати від виробників революційних змін у конструкції і технології сканування. Основні сили розробників зараз направлені на створення і розвиток цифрових камер, у тому числі і для репродукційної документальної фотографії. На сьогодні

використання недорогих традиційних камер формату 230×230 мм з подальшим скануванням фільму на високоточному фотограмметричному сканері є найефективнішою і добре вивченою технологією репродукції документів на паперових носіях.

На підставі аналізу параметрів фотограмметричних сканерів можна зробити висновок, що вони цілком придатні для оцифрування мікрофільмованої на галогенідосрібній плівці статистичної інформації. Найбільш розповсюджені фотограмметричні сканери дозволяють обробляти плівку шириною до 26 см.

### **Результати експериментального оцінювання похибки відтворення детальності іконічних зображень при скануванні аерофільмів**

Детальність аерознімка характеризується лінійним розміром елемента аероландшафту, що розрізняється в зображенні окремо, і залежить від висоти польоту та фокусної відстані аерофотосистеми (об'єктива) [4]:

$$d = \frac{H}{2R_3 f}, \quad (1)$$

де  $H$  — висота польоту (літального апарату) ЛА,  $f$  — фокусна відстань,  $R_3$  — загальна розрізнявальна здатність сканованого зображення, причому

$$R_3 = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}, \quad (2)$$

Для оцінки похибки відтворення детальності, що вноситься скануванням, виконано сканування аерофільмів з такими значеннями розрізнявальної здатності сканера: 1200 dpi, 2400 dpi, 4800 dpi, 7200 dpi та 9600 dpi, що відповідає 48, 96, 192, 288 та 384 л/мм (ліній на міліметр) відповідно. Розрізнявальна здатність аерофотоматеріалу становить 110 л/мм (що відповідає аерофотоплівці Тип 42, яку сертифіковано для участі України в міжнародному договорі Open Skies).

В табл. 3 наведено результати оцінювання похибки відтворення детальності в процесі сканування аерофільмів. Зрозуміло, що використовуючи співвідношення (1), (2) та маючи за вхідні па-

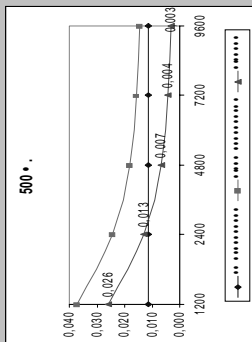
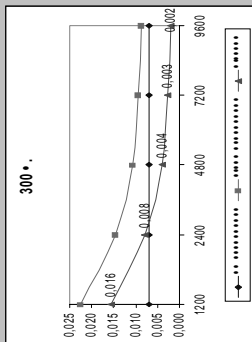
раметри тип плівки (розрізнявальну здатність), фокусну відстань аерофотоапарата (АФА), висота польоту та розрізнення сканера, можна отримати відповідні дані для певного типу комплектів аерознімальної та скануючої апаратури (рис. 2).

Слід зазначити, що замість параметрів  $R_1$  та  $R_2$  у співвідношення (2) доцільно вводити експериментально отримані значення відповідно до розрізнявальної здатності сканованого зображення  $R_1^e$  та розрізнявальної здатності зображення аероландшафту  $R_2^e$ . Методики отримання цих параметрів широко відомі та апробовані, в тому числі і в рамках міжнародного договору Open Skies. Тут зазначимо лише, що для отримання  $R_1^e$  та  $R_2^e$  необхідна наявність вдрукованої в аерофільм сенситограми, або зображення наземної міри (тест-об'єкта), що розміщується зазвичай на стартовому аеродромі і фотографується на початку виконання завдання повітряного спостереження [1, 5].

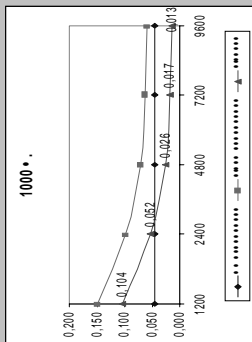
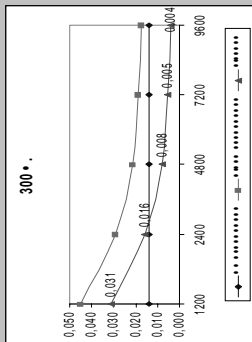
Отже, маючи відповідні дані, надалі можна визначити, які об'єкти повітряного спостереження і з якою якістю можуть бути розпізнані після оцифрування, якщо використати відомі вимоги до дешифрування певних об'єктів аерокосмічного спостереження. Деякі з них для прикладу наведено у табл. 4 [5].

Порівняння даних таблиць 3 та 4 вочевидь доводить можливість використання сучасних приладів сканування для перенесення інформації, у тому числі іконічної, з галогенідосрібних до цифрових носіїв, кількісно визначаючи при цьому ступінь інформаційних втрат на підставі даних про паспортні технічні характеристики аерофотосистем і наявних сканерів. Причому, як показали проведені дослідження, рівень похибки відтворення детальності іконічних зображень цілком прийнятний для рішення завдань виявлення, розпізнавання та аналізу стану об'єктів дистанційного зондування Землі.

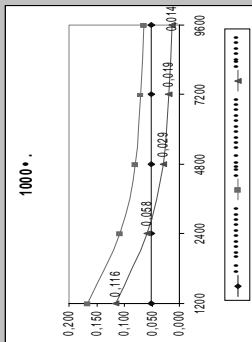
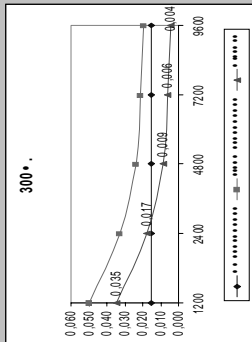
**АФА-41/20**



**АФА-41/10**



**ПА-420**



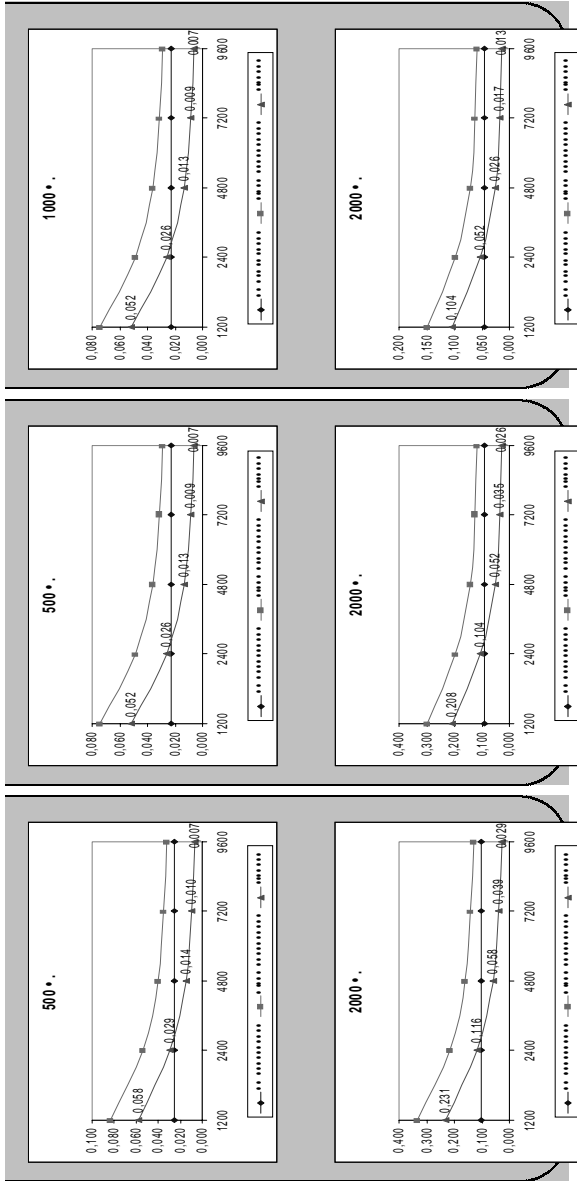


Рис. 2. Експериментально отримані залежності похибки відтворення детальності у сканованому іконичному зображенні від розрешення сканера.

Таблиця 4 — Необхідна розрізнявальна здатність для виявлення об'єктів

№ з/п	Об'єкти повітряного спостереження	Необхідна розрізнявальна здатність (м) для				
		виявлення об'єкта	розпізнання об'єкту			аналізу стану об'єкта
			до виду	до класу	до типу	
1.	Аеропорти	6	4,5	3	0,3	0,15
2.	Літальні апарати	4,5	1,5	0,9	0,15	0,025
3.	Транспортна техніка	1,5	0,6	0,3	0,05	0,025
4.	Адміністративні будови	1,5	0,9	0,3	0,15	0,025
5.	Морські порти	30	15	6	3	0,3
6.	Морські судна	7,5	4,5	0,6	0,3	0,03
7.	Залізничні станції	30	15	6	1,5	0,6
8.	Промислові підприємства	3	0,6	0,3	0,15	0,025
9.	Крупні склади	1,5	0,6	0,3	0,025	—
10.	Населені пункти	60	30	3	3	0,3
11.	Дороги	9	6	1,8	0,15	0,025
12.	Мости	6	4,5	1,5	0,9	0,3
13.	Місцевість	—	9,1	4,4	1,5	0,15

\* \* \*

1. Nicoll Jeff. Turkish data analysis summary // Совещание международной рабочей группы по аппаратуре наблюдения IWGS (Informal Working Group of Sensors), [http://www.osce.org/oscedel/iwgs/September\\_2005\\_pdf](http://www.osce.org/oscedel/iwgs/September_2005_pdf), — Ескешехір, Туреччина. — 2005. — Р. 1—24.

2. Андреев С.М., Бутенко О.С., Фролов В.Я., Чорний С.В. Принципы побудови космічних систем отримання геоінформації / Навчальний посібник. — Харків: ХУ ПС, 2007. — 233 с.

3. Інформаційні технології в збройній боротьбі: тенденції та перспективи використання. О.Ю. Пермяков, В.В. Рябцев, І.Є. Вернер / Наука і оборона. — МО України. — № 2, 2004, С. 38—41.

4. Навігаційні системи та засоби топоприв'язки аерознімків: Навчальний посібник / Чорний С. В., Афанасьев В. В., Андреев С. М., Жилін В. А., Маренич С. Ю. — Х.: ХУ ПС, 2007. — 179 с.

5. Ребрин Ю.К., Станкевич С.А., Мосов С.П. Методы количественной оценки эффективности средств аэрокосмической разведки. — К.: Киевский институт Военно- Воздушных Сил, 1997. — 260 с.

Отримано: 30.08.2008 р.

УДК 551.465

## **АНАЛИЗ ДАННЫХ КОСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВЫЯВЛЕННЫХ АНОМАЛИЙ**

О.С. Бутенко, канд. техн. наук, доц.  
(Национальный аэрокосмический университет  
им. Н.Е. Жуковского)

С.И. Березина, канд. техн. наук, ст. науч. сотр.  
(Национальный аэрокосмический университет  
им. Н.Е. Жуковского)

Г.Я. Красовский, д-р техн. наук, проф.  
(Институт проблем национальной  
безопасности РНБО Украины)

*В статье рассматривается методика предварительной обработки космического снимка для обнаружения на нем различного рода аномалий, предварительная идентификация обнаруженного изменения и способ получения его топологических характеристик по изображению. Также рассматривается возможность выдачи предварительного краткосрочного прогноза распространения выявленных аномалий в реальных условиях по полученным топологическим характеристикам обнаруженного изменения.*

*У статті розглядається методика попередньої обробки космічного знімка для виявлення на ньому різного роду аномалій, попередня ідентифікація виявленої зміни й спосіб одержання його топологічних характеристик по зображенню. Також розглядається можливість видачі попереднього короткострокового прогнозу поширення виявлених аномалій у реальних умовах по отриманих топологічних характеристиках виявленої зміни.*

*Method of the preprocessing of the cosmic photograph is considered in item for finding on him different sort anomaly, preliminary identification of the discovered change and way of the reception its topological features on image. Also in article is considered possibility of the issue spreading revealed anomaly of the preliminary short-term forecast in real conditions on got topological features of the discovered change.*

© О.С. Бутенко, С.И. Березина, Г.Я. Красовский, 2008



Методы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) из космоса позволяют получать различные виды данных об объектах и явлениях в глобальном масштабе с высоким пространственным и временным разрешением. Космические снимки Земли формируют информацию о физических, химических, биологических, геометрических параметрах объектов наблюдения в различных условиях и с определенной периодичностью. Для решения задачи выявления изменений на одном и том же участке поверхности Земли при экологическом мониторинге, а так же прогнозировании его дальнейшего развития при получении данных ДЗЗ необходимо локализовать однородные пятна, а потом провести их классификацию.

Изображение представляется матрицей чисел (размер матрицы  $N \times M$ ), где значение каждого элемента отвечает определенному уровню квантования его энергетической характеристики (яркости). Снимок может повреждаться шумами и помехами различного происхождения, например шумом видеодатчика, шумом зернистости фотоматериалов и ошибками в канале передачи. Шумы видеодатчиков или ошибки в канале передачи обычно проявляются на изображении как разрозненные изменения изолированных элементов, не обладающие пространственной корреляцией. Искаженные элементы часто весьма заметно отличаются от соседних элементов. Это наблюдение послужило основой для многих алгоритмов, обеспечивающих подавление шума.

Изображение может быть описано как распределение яркости  $F(x, y)$ , где  $x, y$  — пара чисел — координаты точек плоскости изображения. Будем рассматривать далее только дискретизированные изображения с целочисленными координатами.

Поскольку шум пространственно декоррелирован, в его спектре, как правило, содержатся более высокие пространственные частоты, чем в спектре обычного изображения. Следовательно, простая низкочастотная пространственная фильтрация может служить эффективным средством сглаживания шумов.

Рассмотрим массив  $F(N, M)$  из  $N \times M$  элементов, представляющий исходное (входное) изображение. При воздействии на него обобщенным линейным оператором получается массив из  $N_1 \times M_1$  элементов, описывающий преобразованное (выходное) изображение

$$P(N_1, M_1) = \sum_{n_1=1}^{N_1} \sum_{n_2=1}^{M_1} F(n_1, n_2) \cdot O(n_1, n_2; m_1, m_2) \quad (1)$$

где ядро оператора  $O(n_1, n_2; m_1, m_2)$  представляет собой набор весовых множителей, зависящих в общем случае от координат элементов как входного, так и выходного изображений.

Применение низкочастотных фильтров влечет за собой некоторое смазывание изображения, интенсивность которого будет зависеть от размера окна в котором ведется обработка. Использование текстурных признаков для локализации пятен на снимке является нецелесообразным, так как повлечет за собой большие временные затраты на обработку снимка. Поэтому это свойство было использовано для локализации пятен однородных по текстурным и цветовым признакам. Характерные пятна проявляются в большей или меньшей степени в той или иной части спектра, что может свидетельствовать об их различной этимологии. Поэтому предварительно изображение раскладывалось на спектральные составляющие, и анализ проводился по каждой составляющей отдельно.

При анализе рассматривалось несколько типов размывающих низкочастотных фильтров. В результате установлено, что использование контргармонического среднего, арифметического среднего, геометрического среднего, гармонического среднего, максимума по окрестности, минимума по окрестности, срединной точки не дают приемлемого результата. Наилучшим оказалось использование  $\alpha$ -усеченное среднее, медианный фильтр с размером окна  $5 \times 5$  и фильтр Гаусса с  $\sigma \approx 20$ . Аргументируем выбор фильтров.

Медианный фильтр представляет собой скользящее окно, охватывающее нечетное число элементов изображения. Центральный элемент заменяется медианой всех элементов изображения в окне. Медианой дискретной последовательности  $a_1, a_2, \dots, a_N$  для нечетного  $N$  является тот ее элемент, для которого существуют  $(N - 1)/2$  элементов, меньших или равных ему по величине, и  $(N - 1)/2$  элементов, больших или равных ему по величине. Медианный фильтр не влияет на ступенчатые или пилообразные функции, что обычно является желательным свойством. Однако этот фильтр подавляет импульсные сигналы, длительность которых составляет менее половины ширины окна. Фильтр также вызывает уплощение вершины треугольной функции. Одно из основных преимуществ медианной фильтрации состоит в том, что она приводит к устранению импульсных выбросов, не размывая границ объектов.

Фильтр типа  $\alpha$ -усеченное среднее можно представить выражением

$$P(i, j) = \frac{1}{2} \left[ \max_{(i, j) \in D} \{F(i, j)\} + \min_{(i, j) \in D} \{F(i, j)\} \right] \quad (2)$$

Суть работы фильтра, представленного выражением (2), можно объяснить так.

Из локальной области  $D$  удаляются  $\frac{d}{2}$  наибольших и  $\frac{d}{2}$  наименьших значений пикселей. Оставшиеся значения усредняются и формируют результат.

При использовании фильтра Гаусса ядро оператора  $O(n_1, n_2; m_1, m_2)$  (1) представляет собой набор весовых множителей составленных из формулы (3)

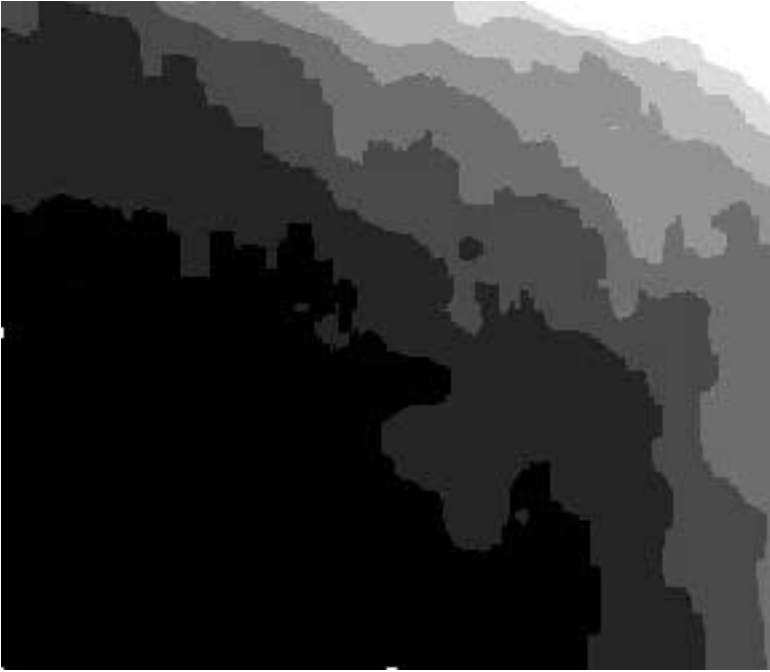
$$G_{\sigma}(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{(x^2 + y^2)}{2\sigma^2}\right) \quad (3)$$

После проведенных операций удалось локализовать однородные участки (рис. 1).

Выявленные участки отмечались на исходном изображении (рис. 2). По полученным данным рассчитывались топологические характеристики пятен. А при необходимости, уже рассматривались более детальные и сложные для вычислений дешифровочные признаки.

После получения топологических характеристик обнаруженного пятна и его предварительной идентификации ставится задача выдачи кратковременного прогноза распространения обнаруженного изменения в реальных условиях на местности только по априорным данным.

Существует несколько стандартных подходов к моделированию динамических процессов. Основой моделирования является исходная информация. Зачастую эта информация представляется в виде временных рядов по некоторым параметрам исследуемого объекта. Адекватность модели определяется качеством исходной информации в соответствии с её количественным представлением. Времен-

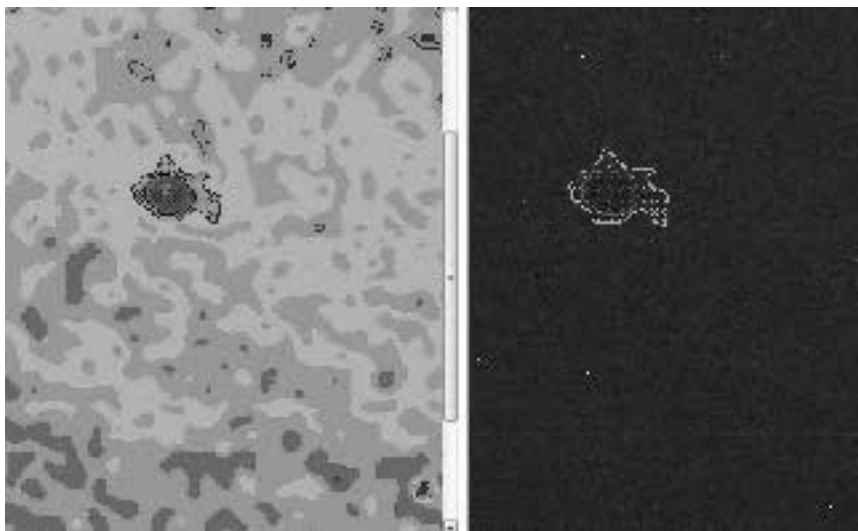


*Рис. 1. Результат использования шумоподавляющего и смазывающего фильтров.*

ной ряд рассматривается как случайный стационарный процесс. Появляется необходимость развивать различные математические методы количественного анализа с целью извлечения из временных рядов достоверной информации.

В качестве исходных данных в рассматриваемом случае при построении временного ряда использовались площадь пятна и его периметр. В соответствии с выбранным центром инерции фигуры из исходного изображения были получены данные по яркости пятна в центре инерции, средняя яркость на краях и за пределами обнаруженного пятна.

К настоящему моменту разработано большое число методов прогнозирования временных рядов. Достаточно часто используется полиномиальная модель, но она условно описывает динамические процессы. Наиболее точных результатов в анализе временных



*Рис. 2. Локалізація пляна на вихідному зображенні.*

рядов можно добиться, рассматривая построенный ряд с точки зрения теории динамического хаоса.

Однако для построения краткосрочного прогноза временного ряда необходимо осуществить переход от хаотического состояния ряда, о котором свидетельствует его случайный характер, к регулярному состоянию. Для этого необходимо детально проанализировать все исходные параметры и влияние на них дополнительных случайных характеристик. Изменяя дополнительно введенные параметры и рассматривая их влияние, как влияние внешних условий, можно перестроить характеристики системы, свидетельствующие о состоянии динамической системы. Оценив полученный временной ряд и соответствующий ему аттрактор, мы сможем найти необходимый горизонт прогноза.

Изначально, при проведении анализа необходимо оценить класс и вид рассматриваемого процесса. Установить взаимосвязь между информативными признаками, полученными из изображения с реальными условиями, которые могут повлиять на прогнозируемую ситуацию.

Установление априори класса процесса во многом предопределяет алгоритм обработки результатов измерений и аппаратные средства.

Итак, классификационными признаками в данном случае могут быть стационарность или нестационарность, вид процесса — аддитивный, мультипликативный, аддитивно-мультипликативный и тип детерминированной составляющей. Поскольку речь идет о построении прогноза только по априорным данным, то рассматривается алгоритм классификации случайных процессов по одной реализации, основанный на использовании непараметрических критериев, показателя Херста, байесовской процедуре классификации и нечеткой логике.

Случайный характер воздействия введенных дополнительных факторов на характер обнаруженного явления предполагает применение процедуры статистической обработки результатов измерений, что обуславливает наличие таких составляющих погрешности, как статистическая погрешность и погрешность, вызванная неадекватностью алгоритма обработки реальному случайному процессу. Здесь необходимо учитывать, что, классифицируя нестационарный процесс как стационарный, можно увеличить методическую погрешность при оценке математического ожидания за счет увеличения интервала сглаживания.

Для проведения анализа одной реализации необходимо выполнить классификацию по типам нестационарности и при этом рассматривать поведение во времени оценок статистических характеристик.

Используя классическую теорию, случайные процессы можно представить как результат совместного действия детерминированного полезного сигнала и стационарной помехи.

В качестве полезного сигнала в рассматриваемом случае выступает обнаруженное изменение после проведения операции фильтрации, обнаружения и предварительного дешифрирования. В качестве помехи — подстилающая поверхность.

В общем случае влияние помехи на полезный сигнал может быть выражено оператором  $X(t)=V(\varphi(t), \varepsilon(t))$ , где  $\varphi(t)$  — полезный сигнал (сигналы),  $\varepsilon(t)$  — стационарная помеха. В зависимости от вида оператора  $V$  различают следующие модели сигналов

аддитивная модель  $X(t)=\varphi_1(t)+\varepsilon(t)$ ;

мультипликативная модель  $X(t) = \varphi_2(t)\varepsilon(t)$ ;

аддитивно-мультипликативная модель  $X(t) = \varphi_1(t) + \varphi_2(t)\varepsilon(t)$ , где  $\varphi_1(t)$ ,  $\varphi_2(t)$  — детерминированные функции времени,  $\varepsilon(t)$  —

стационарный случайный процесс с нулевым математическим ожиданием,  $m_\epsilon = 0$  и постоянной дисперсией  $D\epsilon$ .

Обычно рассматриваются стационарные процессы, когда оценивается во времени поведение математического ожидания, дисперсии и корреляционной функции. Поэтому и при классификации нестационарных процессов следует исходить из анализа этих же характеристик.

С учетом принятых допущений математическое ожидание  $mX$ , дисперсия  $DX$  и корреляционная функция  $RX$  случайных процессов, имеют следующий вид:

аддитивная  $mX(t) = \varphi_1(t)$ ;  $D^{\wedge}t = D\epsilon$ ;  $RX(t_1, t_2) = R\varphi(t_1, t_2)$ ;  
мультипликативная  $mX(t) = 0$ ;  $DX(t) = \varphi_2^2(t)D\epsilon$ ;  
аддитивно-мультипликативная  $mX(t) = \varphi(t)$ ;  $DX(t) = \varphi^2(t)D\epsilon$ ;  
 $RX(t_1, t_2) = \varphi_2(t_1)\varphi_2(t_2)R\epsilon(t_1, t_2)$ .

Из приведенных соотношений следует, что математическое ожидание для аддитивной и аддитивно-мультипликативной моделей зависит от детерминированной составляющей  $\varphi_1(t)$ . Дисперсия и корреляционная функция аддитивной модели полностью характеризуются свойствами стационарной помехи. А для мультипликативной и аддитивно-мультипликативной моделей эти вероятностные характеристики определяются также и детерминированной составляющей  $\varphi_2(t)$ .

Анализируя представленные соотношения можно сделать вывод, о том что для процессов, представленных аддитивной и аддитивно-мультипликативной моделями, математическое ожидание можно оценить по одной реализации с помощью той или иной операции, эквивалентной фильтрации низких частот.

Если дисперсия помехи  $\epsilon(t)$  постоянная, то определить средний квадрат мультипликативного и аддитивно-мультипликативного процессов (и тем самым получить оценку дисперсии) также можно по одной реализации.

Таким образом, рассматривая анализируемые процессы, представленных любыми из этих моделей, нет необходимости проверять эргодические свойства нестационарного случайного процесса.

Точность оценки статистических характеристик будет зависеть от типа и параметров детерминированных процессов  $\varphi_1(t)$  и  $\varphi_2(t)$ .

Классификацию по нестационарности — это необходимый предварительный этап исследования случайного процесса с целью

выявления его свойств до проведения основной статистической обработки.

В качестве классификационных признаков при наличии одной реализации исследуемого процесса рассматриваются класс процесса и вид нестационарности: нестационарность по математическому ожиданию, нестационарность по дисперсии, нестационарность по корреляционной функции, а также законы изменения математического ожидания и дисперсии.

Согласно классическому определению классификации, данная задача была решена еще на этапе построения «критериального дерева» на каждом из исходных изображений. В качестве одного из критериев рассматривалось разделение рассматриваемой совокупности объектов и явлений на однородные, в определенном смысле, группы, либо отнесение каждого из заданного множества объектов к одному из заранее известных классов. Это позволит произвести анализ разнородной информации: выделить объекты на изображении, произвести их привязку по географическим координатам и определить их качественные и количественные характеристики, а также идентифицировать объекты в соответствии с имеющейся базой знаний, основанной на нечёткой логике.

В классическом виде решение задачи классификации рассматривается как отображение вида:

$$R = \{r_1, r_2, \dots, r_n\} \rightarrow ye\{d_1, d_2, \dots, d_m\},$$

т. е. отнесение объекта, заданного вектором информативных признаков  $R = \{r_1, r_2, \dots, r_n\}$ , к одному из заранее определенных классов  $\{d_1, d_2, \dots, d_m\}$ .

Процессы, представленные рассмотренными выше моделями, относятся к классу нестационарных случайных процессов. Для выявления нестационарных свойств предлагается использовать непараметрические критерии, показатель Херста и коррелограммы, по результатам применения которых будет формироваться вектор информативных признаков  $R$ .

Значительное большинство непараметрических критериев реагируют на изменение оценки математического ожидания. Таким образом, непараметрические критерии без предварительной обработки наблюдаемого ряда позволяют выделить два класса процес-



сов «стационарные по математическому ожиданию» и «нестационарные по математическому ожиданию».

Для определения динамического состояния системы используются показатели Херста. Показатель Херста характеризует направление развития системы; если его значение превышает число 0.5, то временной ряд в будущем промежутке времени стремится к возрастанию; если показатель Херста равен 0.5, то временной ряд находится в неопределенном состоянии, это говорит о том, что мы не можем сказать о направлении его развития; если показатель меньше 0.5, то временной ряд стремится к убыванию. Если приращения были положительными в течение некоторого времени в прошлом, то есть происходило увеличение, то и впредь в среднем будет происходить увеличение. Таким образом, для процесса с  $H > 0.5$  тенденция к увеличению в прошлом означает тенденцию к увеличению в будущем. И наоборот, тенденция к уменьшению в прошлом означает, в среднем, продолжение уменьшения в будущем. Чем больше  $H$ , тем сильнее тенденция.

По значению показателя Херста можно судить как о стационарности процесса по математическому ожиданию, так и о виде детерминированной составляющей.

Однако, наибольший интерес представляет случай, когда показатель Херста принимает значение равное индифферентности, т. е. равен 0.5. В данном случае появляется возможность, используя алгебру нечеткой логики учесть дополнительные возможности, влияющие на точность прогноза.

В основе классификации по непараметрическим критериям лежит байесовская процедура для бинарных признаков. Полученные таким образом оценки рассматриваются как обобщенный результат применения непараметрических критериев, а апостериорная вероятность — как классификационный признак. При этом шкала измерений становится такой же, что и для показателя Херста.

С помощью метода нормированного размаха Херста есть возможность рассчитать показатели Херста не только в областях выявленных изменений или пятен, но и в прилегающих к ним зонам. Это даст возможность, установив зависимость между полученными показателями Херста в различных зонах, получить некоторую оценку интервалов предсказуемости поведения данного ряда. Границы будут характеризоваться точками излома статистики

Хёрста, на которых оценка показателя Хёрста будет существенно изменяться.

Однако, все полученные результаты требуют дополнительного анализа. Точность анализа и дальнейшего прогноза во многом зависит от количества априорных данных, а это в свою очередь требует создания значительной базы данных, содержащих снимки, полученные различными системами и в различных диапазонах.

\* \* \*

*Алексеев А.В.* Применение нечеткой математики в задачах принятия решений. — В сб.: Методы и системы принятия решений. — Рига: РПИ, 1983. — С. 38—42.

*Аоки М.* Введение в методы оптимизации. — М.: Наука, 1977. — 344с.

*Моисеев Н.Н.* Элементы теории оптимальных систем. М: Наука, 1975, 528с.

*Fractal geometry of information space as represented by cocitation clustering / Van Raan A. F. J. // Scientometrics. — 1991. — Vol. 20, 3. — P. 439—449.*

*Федер Е.* Фракталы / М.: Мир, 1991. — 254 с.

*Дистанционное зондирование: количественный подход / Ш.М. Дейвис, Д.Я. Ландгребе, Т.Л. Филлипс и др. — М.: Недра, 1983. — 415 с.*

*Красовський Г.Я., Петросов В.А.* Інформаційні технології космічного моніторингу водних екосистем і прогнозу водоспоживання міст. — К.: Наук. думка, 2003.

*Отримано: 09.09.2008 р.*

УДК 504.453

## **ПРОСТОРОВО-ЧАСОВА ЕКОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА р. ПРУТ**

*В.М. Удод, д-р біол. наук, проф.  
М.Ю. Яців  
(Київський національний університет  
будівництва і архітектури)*

*Здійснено просторово-часову оцінку якості води р. Прут за період 1955—2005 рр. Показано, що нормативна методика (на основі ІЗВ, розрахованому по шести показникам) дає занижені кількісні показники якості води. В умовах дії різносторонніх антропогенних факторів зростає число лімітуючи факторів, які впливають на розвиток водної екосистеми. Тому нами запропонована існуюча методика визначення класу якості води за 18 формалізованими оціночними показниками.*

*Осуществлена пространственно-временная оценка качества воды р.Прут за период 1955—2005 гг. Показано, что нормативная методика (на основе ИЗВ, рассчитанному по шести показателям) дает заниженные количественные показатели качества воды. В условиях действия разносторонних антропогенных факторов растет число, лимитирующих факторов, которые влияют на развитие водной экосистемы. Поэтому нами предложена существующая методика определения класса качества воды по 18 формализованным оценочным показателям.*

*The spatio-temporal estimation of quality of water is carried) for the Prut river for period 1955—2005. Shown that a normative methodology (on the basis of WPI, to calculated with six indexes) gives the underrated quantitative indexes of quality of water. A number of limiting factors which influence on development of water ecosystem, grows under the influences of versatile anthropogenic factors. Therefore the existent methodology of determination of class of quality of water after 18 by the formalized evaluation indexes are offered.*

Водні ресурси будь-якої держави спричиняють істотний вплив на політику, еколого-економічну стабільність, соціальне благополуччя населення.

© В.М. Удод, М.Ю. Яців, 2008

В умовах зростаючого дефіциту водних ресурсів оцінка якості води, яка використовується для водогосподарських потреб, стає однією із пріоритетних проблем забезпечення екологічної безпеки природних і соціальних систем. Це пов'язано з тим, що постійно зростає якісне виснаження поверхневих вод під дією природних і антропогенних факторів, а наслідки забруднення поверхневих водойм набули глобального значення (рис. 1).

Оцінка якості природних вод є достатньо складним завданням у зв'язку із постійними змінами абіотичних факторів в умовах антропогенного впливу.

В роботі розглянуто питання оцінки якості води водозабірною басейну р.Прут. На пріоритетному рівні визначені підходи і методика цієї процедури. У попередніх роботах дана детальна інформація щодо забруднення води р.Прут в залежності від екологічної ситуації, яка склалась в районі водозабірною басейну р. Прут [4, 5].

В таблиці 1 представлена динаміка змін якості води р. Прут за період 1955—2005 рр. (наведено лише дані, які суттєво змінюються протягом 50 років, такий підхід вимушений можливо допустимим обсягом таблиці) Аналіз якості води та оцінку її стану здійснювали за такими показниками:

- на основі інтегральних та сумарних показників якості води (ІЗВ — індекс забруднення води);
- за показниками, які характеризують загальні властивості води (загальна мінералізація, водневий показник, розчинений кисень тощо);
- за окремими показниками, визначеними для проведення санітарно-хімічного аналізу води.

ІЗВ розраховували на основі шести показників (концентрація розчиненого кисню у воді, БСК<sub>5</sub>, концентрації нафтопродуктів, фенолів, азоту амонійного та нітритного). За величинами отриманого ІЗВ розраховували оцінку якості води (по всьому водозабірному басейну і за періодами — 1966—2005 рр.) по окремим ділянкам р. Прут на відповідні класи (таблиця 2). Домінуючим класом якості води водозабірною басейну р. Прут є помірно забруднена вода. З урахуванням такого стану води можна констатувати, що природні процеси самоочищення не порушені. Підтвердженням такого стану є: стабільний рівень розчиненого кисню (у відповідності із сезонними температурними змінами); стабільний

Таблиця 1 — Динаміка змін якості води р. Прут

Період дослідження	Розчинений кисень, мг/л	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , мг/л	СІ, мг/л	Сума іонів, мг/л	Біхроматна окислюваність, мгО/л	БСК, мгО/л	Нафтопродукти, мг/л
м. Коломия, 0,5 км вище міста							
1984-1995рр.	5,68-14,3	4,8-162	5,3-145	187-777	7,8-57	1,7-7,88	0-1,28
1997-2005рр.	7,36-13,4	13,4-106	5-68,1	198-470	3,44-38,3	0,3-5,2	0,0025-0,13
м. Коломия, 0,5 км нижче міста							
1984-1995рр.	7,1-13,8	6,7-199	5,3-174	187-844	9,8-74,9	0,14-8,61	0-0,5
1997-2005рр.	5,94-13,5	14,4-125	6,2-70,9	294-480	4,92-25,2	0,2-5,8	0,0062-0,13
м. Яремча, 0,5 км вище міста							
1978-1983рр.	5,11-19,4	11,5-148,6	0,4-40,8	113,3-392,2	0,2-58,9	2-5,3	0-4,3
1986-1995рр.	7-14,8	7,7-329	0,35-31,9	137-671	1,2-34,3	0,8-6,5	0-0,96
1996-2005рр.	10,1-14	3,63-76,9	5-118	105-374	3,24-84,2	2,3-5,1	0-0,91
м. Яремча, в межах міста							
1961-1972рр.	5,27-16,22	10,0-46	0-14,3	100,6-353,7	1,7-38,5	0,8-3,7	
1982-1995рр.	6,9-14,8	6,73-271	0,04-138,2	125-679	1-50,3	0,8-7	0-1,38
1996-2005рр.	8,25-13,9	3,63-76,9	5,17-125	121-358	6,76-103	2,3-4,6	0-0,75
м. Чернівці, 1— 3,5км вище міста							
1955-1965рр.		98,7-10	46,3-2	481-182	26,6-6,4		
1966-1975рр.	15,28-6,05	1,4-123,4	1-113,4	118,4-551,5	2,8-65,1	1-26,5	0,2-4

за періодами і створами (min — max)

Феноли летючі, мг/л	NH <sub>4</sub> , мг/л	NO <sub>2</sub> , мг/л	NO <sub>3</sub> , мг/л	Залізо загаль- не, мг/л	Мідь, мг/л	Цинк, мг/л	Хром 6+, мг/л
0-0,008	0-1,91	0-0,09	0,01-4,7	0-1,25	0-0,028	0-0,094	0-0,02
0,001- 0,007	0-1,0	0,003- 0,048	0,03-0,56	0,015- 0,87	0,0008- 0,095	0- 0,1013	0,0003- 0,0083
0-0,008	0,03- 2,14	0-0,219	0,01-4,8	0-4,17	0-0,029	0-0,036	0-0,025
0,001- 0,0045	0,02- 1,15	0,004- 0,055	0,04-0,51	0,029- 2,29	0,0004- 0,057	0,0026- 0,71	0,0004- 0,0096
0-0,044	0-3,85	0-0,18	0-0,74	0-0,33	0-0,02	0-0,014	0-0,008
0-0,026	0,03- 1,28	0-0,062	0,05-2,35	0-2,3	0-0,028	0-0,04	0-0,0312
0-0,04	0-2,4	0-0,022	0-1,8	0-2,3	0-0,034	0-0,039	0-0,012
	0-0,3	0-0,5	0-1,5	0,0-5			
0-0,008	0,01- 2,35	0-0,078	0,01-2,35	0-2,8	0-0,028	0-0,04	0-0,037
0-0,013	0-3,34	0-0,1	0-1,88	0-2,38	0-0,035	0-0,043	0-0,035
		0,17-0	10-0,1	2,64-0			
0-0,02	0-2,0	0-1,26	0-2,68	0-18	0-0,003	0-0,01	0,006- 0,106

Продовження табл. 1 на наступ. стор.

*Екологічна безпека та природокористування*

Період досліджень	Розчинений кисень, мг/л	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , мг/л	СГ, мг/л	Сума іонів, мг/л	Біхроматна окислюваність, мгО <sub>2</sub> /л	БСК <sub>5</sub> , мгО <sub>2</sub> /л	Щатропродуктивн., мг/л
1976-1985рр.	7,6-15,5	9,6-113	6,7-63,8	227-696	2,8-88	0,4-8,55	0-3,84
1986-1995рр.	4,42-14,3	6,7-357	9,9-181	151-993	1,61-55,7	1,3-10,3	0-0,56
1996-2005рр.	6,2-14,1	9,6-96,1	9,4-95,7	152-531	3,0-30	0,2-7,6	0,0028-0,21
м. Чернівці, 1 3,0 км нижче міста							
1971-1985рр.	1-17,36	5,8-181,7	4,9-80	224-1190	4,2-67,3	0,81-27,2	0-3,46
1986-1995рр.	4,66-14,7	9,6-203	7,8-226	116-797	1,7-71,4	1,23-12,1	0-1,16
1996-2005рр.	6,6-14,9	13,7-102	15-99,3	163-567	3-60,7	0,3-7,9	0,002-0,17
м. Чернівці, 7 км нижче міста							
1986-1995рр.	4,01-14,6	7,3-706	11,7-226	141-1590	2,9-97,8	1,14-12,8	0-6,32
1996-2005рр.	6,7-14,4	14,4-110	14,7-103	166-586	3-46,8	0,36-10,3	0,003-0,27
м. Чернівці, 11,5 км нижче міста							
1973-1985рр.	5,92-18,2	5,8-278	4,2-121	221,7-1060	3,4-80,4	0,1-8,71	0-2,87
м. Чернівці, 13,5 км нижче міста							
1973-1985рр.	3,4-16,28	9,1-104,7	5,3-92,6	226-810,7	3,5-83,9	0,4-10,71	0-0,96
с. Ленківці							
1971-1980рр.	4,2-15	29-193	27-92	264-506		1,6-9,4	
1981-1988рр.	7,5-14,7	38-112	21-149	384-762	1,7-6,8	2,1-8	0
с. Магала							
1971-1980рр.	2,4-14,4	19-143,5	23-145	220-488		0,2-28	
1981-1988рр.	5,1-12,5	54-172	32-173	428-924	3,4-7,6	3-13,5	

*Розділ 1. Екологічна безпека*

Фенолн летючі, мг/л	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , мг/л	NO <sub>2</sub> , мг/л	NO <sub>3</sub> , мг/л	Залізо загаль- не, мг/л	Мідь, мг/л	Цинк, мг/л	Хром 6+, мг/л
0-0,02	0-11	0-0,12	0-0,74	0-7,58	0-0,08	0-0,03	0-0,09
0-0,013	0,03-3	0-0,11	0,04-4,5	0-4,0	0-0,05	0-0,092	0-0,117
0,0003- 0,009	0-5,15	0,003- 0,129	0,01-5,08	0-1,12	0-0,076	0-0,163	0-0,013
0-0,032	0-21	0-0,18	0-1,64	0-8,33	0-0,0096	0-0,1	0-0,087
0-0,012	0,02- 2,83	0-0,52	0,04-5,1	0-4,5	0-0,042	0-0,092	0-0,046
0,001- 0,008	0-7,46	0,002- 0,14	0,02-5,57	0-1,71	0,001- 0,042	0,0019- 0,611	0-0,024
0-0,012	0,03-3,2	0-0,13	0,05-5,1	0-4,5	0-0,054	0-0,08	0-0,04
0,0007- 0,008	0-6,7	0,001- 0,185	0,02-7,3	0-3,53	0-0,092	0-0,801	0-0,029
0-0,016	0-18,54	0-0,24	0-0,9	0-3,12	0-0,036	0-0,02	0-0,14
0-0,024	0-31	0-0,46	0-1,37	0-7,15	0-0,024	0-0,053	0-0,161
	0-3,0	0-0,1	0-2,5	0,1-1,22			
	0-2,0	0-0,08	0,8-2,8	0,1-0,8			
	0-3,24	0-0,2	0-2,9	0-2,84			
	0-2,5	0-0,4	0-2,6	0,1-0,92			



**Таблиця 2 — Класи якості води р.Прут  
в залежності від значення ІЗВ**

Створ	Період досліджень	Середнє значення ІЗВ	Клас якості води	Ступінь забрудненості води
м. Коломия, 0,5 км вище міста	1984—1995 рр.	1,22	III	Помірно забруднена
	1997—2005 рр.	1,02	III	Помірно забруднена
м. Коломия, 0,5 км нижче міста	1984—1995 рр.	1,42	III	Помірно забруднена
	1997—2005 рр.	1,17	III	Помірно забруднена
м. Яремча, 0,5 км вище міста	1978—1983 рр.	2,95	IV	Забруднена
	1986—1995 рр.	1,59	III	Помірно забруднена
	1996—2005 рр.	1,96	III	Помірно забруднена
м. Яремча, в межах міста	1961—1972 рр.	*	—	—
	1982—1995 рр.	1,37	III	Помірно забруднена
	1996—2005 рр.	2,31	III	Помірно забруднена
м.Чернівці, 1—3,5 км вище міста	1966—1975 рр.	*	—	—
	1976—1985 рр.	2,56	IV	Забруднена
	1986—1995 рр.	1,34	III	Помірно забруднена
	1996—2005 рр.	1,02	III	Помірно забруднена
м.Чернівці, 1—3 км нижче міста	1971—1985 рр.	1,89	III	Помірно забруднена
	1986—1995 рр.	1,46	III	Помірно забруднена
	1996—2005 рр.	1,5	III	Помірно забруднена
м.Чернівці, 7 км нижче міста	1986—1995 рр.	1,45	III	Помірно забруднена
	1996—2005 рр.	1,34	III	Помірно забруднена
м.Чернівці, 11,5 км нижче міста	1973—1985 рр.	2,49	III	Помірно забруднена
м.Чернівці, 13,5 км нижче міста	1973—1985 рр.	2,64	IV	Забруднена

\* — було недостатньо даних для розрахунку ІЗВ.

рівень зважених речовин; стабільний рівень співвідношень між БСК та ХСК, який характеризує можливість та ефективність біохімічного окислення органічних домішок води



Рис. 1. Глобальні наслідки забруднення поверхневих вод.

Зміни загальної мінералізації знаходяться у оберненій залежності від витрати води (рис. 2).

Рівень водневого показника (рН) практично не змінювався за досліджуваний період.

Стосовно вмісту екотоксикантів органічного і неорганічного походження можна сказати, що це пов'язано з рівнем урбанізованості території та дії природних і антропогенних факторів (рис. 3). У ряді випадків фіксується їх вміст у воді з перевищенням ГДК до десятків разів (табл. 3).

Виходячи з аналізу динаміки змін якості води у р. Прут можна виділити два стани водної екосистеми:

Таблиця 3 — Концентрації і кратності перевищення ГДК деяких забруднюючих речовин у воді

Період досліджень	Одиниці виміру	Нафто-продукція, мг/л	Феноли летючі, мг/л	СПАР, мг/л	Залізо загальне, мг/л	Мідь, мг/л
м. Коломия, 0,5 км вище міста						
1984	мг/л	0,109	0,001	0,049	0,278	0,007
1995 рр.	кратність ГДК	2,18	1	0,49	5,56	7
1997—	мг/л	0,039	0,002	0,025	0,185	0,012
2005 рр.	кратність ГДК	0,78	2	0,25	3,7	12
м. Коломия, 0,5 км нижче міста						
1984—	мг/л	0,134	0,001	0,048	0,514	0,007
1995 рр.	кратність ГДК	2,68	1	0,48	10,28	7
1997—	мг/л	0,05	0,002	0,032	0,277	0,013
2005 рр.	кратність ГДК	1	2	0,32	5,54	13
м. Яремча, 0,5 км вище міста						
1978—	мг/л	0,332	0,005	0,034	0,082	0,002
1983 рр.	кратність ГДК	6,64	5	0,34	1,64	2
1986—	мг/л	0,202	0,003	0,027	0,457	0,007
1995 рр.	кратність ГДК	4,04	3	0,27	9,14	7
1996	мг/л	0,183	0,004	0,007	0,4	0,009
2005 рр.	кратність ГДК	3,66	4	0,07	8	9
м. Яремча, в межах міста						
1961—					0,951	
1972 рр.	кратність ГДК				19,02	
1982	мг/л	0,161	0,001	0,043	0,353	0,007
1995 рр.	кратність ГДК	3,22	1	0,43	7,06	7
1996—	мг/л	0,187	0,004	0,058	0,542	0,012
2005 рр.	кратність ГДК	3,74	4	0,58	10,84	12
м. Чернівці, 1—3,5 км вище міста						
1955—	мг/л				0,269	
1965 рр.	кратність ГДК				5,38	
1966—	мг/л	1,49	0,002	0,57	0,921	0,001
1975 рр.	кратність ГДК	29,8	2	5,7	18,42	1
1976—	мг/л	0,358	0,003	0,056	0,335	0,006
1985 рр.	кратність ГДК	7,16	3	0,56	6,7	6

(для водойм рибогосподарського призначення)

р.Прут за періодами і створами

Цинк, мг/л	Хром 6+, мг/л	Біхроматна окислю- ваність, мг О/л	БСК <sub>5</sub> , мг О/л	NH <sub>4</sub> <sup>-</sup> , мг/л	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , мг/л	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/л
0,019	0,005	23,6	3,4	0,574	0,012	1,243
1,9	5	1,573	1,133	1,148	0,15	0,031
0,033	0,002	10,5	2,3	0,259	0,014	0,114
3,3	2	0,7	0,767	0,518	0,175	0,003
0,018	0,006	25,2	3,37	0,569	0,022	1,294
1,8	6	1,68	1,123	1,138	0,275	0,032
0,077	0,003	11,6	2,62	0,327	0,021	0,131
7,7	3	0,773	0,873	0,654	0,263	0,003
0,005	0,002	20,56	4,2	1,033	0,018	0,102
0,5	2	1,371	1,4	2,066	0,225	0,003
0,016	0,007	14,5	3,2	0,527	0,012	0,954
1,6	7	0,967	1,067	1,054	0,15	0,024
0,015	0,003	21,26	3,73	0,615	0,006	0,224
1,5	3	1,417	1,243	1,23	0,075	0,006
		11,58	2,52	0,146	0,073	0,406
		0,772	0,84	0,292	0,913	0,01
0,013	0,006	15,1	3,26	0,588	0,01	0,756
1,3	6	1,007	1,087	1,176	0,125	0,019
0,018	0,007	26,27	3,44	0,749	0,013	0,241
1,8	7	1,751	1,147	1,498	0,163	0,006
		14,6			0,028	2,33
		0,973			0,35	0,058
0,001	0,039	13,8	4,3	0,281	0,114	0,24
0,1	39	0,917	1,447	0,562	1,425	0,006
0,006	0,01	27,3	3,2	0,795	0,016	0,18
0,6	10	1,82	1,08	1,59	0,2	0,005

Продовження табл. 3 на наступ. стор.

*Екологічна безпека та природокористування*

Період досліджень	Одиниці виміру	Нафто-продукція, мг/л	Феноли летючі, мг/л	СПАР, мг/л	Залізо загальне, мг/л	Мідь, мг/л
1986— 1995 рр.	мг/л	0,104	0,002	0,041	0,5	0,007
	кратність ГДК	2,08	2	0,41	10	7
1996 2005 рр.	мг/л	0,053	0,003	0,024	0,212	0,008
	кратність ГДК	1,06	3	0,24	4,24	8
м. Чернівці, 1—3 км нижче міста						
1971— 1985 рр.	мг/л	0,277	0,003	0,252	0,282	0,003
	кратність ГДК	5,54	3	2,52	5,64	3
1986 1995 рр.	мг/л	0,106	0,002	0,043	0,533	0,008
	кратність ГДК	2,12	2	0,43	10,66	8
1996— 2005 рр.	мг/л	0,062	0,004	0,042	0,448	0,013
	кратність ГДК	1,24	4	0,42	8,96	13
м. Чернівці, 7 км нижче міста						
1986— 1995 рр.	мг/л	0,168	0,002	0,038	0,533	0,009
	кратність ГДК	3,36	2	0,38	10,66	9
1996— 2005 рр.	мг/л	0,066	0,003	0,036	0,4	0,011
	кратність ГДК	1,32	3	0,36	8	11
м. Чернівці, 11,5 км півжче міста						
1973 1985 рр.	мг/л	0,378	0,002	0,07	0,197	0,004
	кратність ГДК	7,56	2	0,7	3,94	4
м. Чернівці, 13,5 км нижче міста						
1973— 1985 рр.	мг/л	0,352	0,003	0,122	0,28	0,004
	кратність ГДК	7,04	3	1,22	5,6	4
с. Лешківці						
1971 1980 рр.	мг/л				0,407	
	кратність ГДК				8,14	
1981— 1988 рр.	мг/л	0			0,324	
	кратність ГДК	0			6,48	
с. Магала						
1971 1980 рр.	мг/л				0,382	
	кратність ГДК				7,64	
1981— 1988 рр.	мг/л				0,54	
	кратність ГДК				10,8	

*Розділ 1. Екологічна безпека*

Цинк, мг/л	Хром 6+, мг/л	Біхроматна окислю- ваність, мгО/л	БСК <sub>5</sub> , мгО/л	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , мг/л	NO <sub>2</sub> , мг/л	NO <sub>3</sub> , мг/л
0,022	0,006	19,3	3,5	0,57	0,009	1,20
2,2	6	1,287	1,18	1,14	0,113	0,03
0,026	0,003	9,5	2,2	0,314	0,021	0,25
2,6	3	0,636	0,733	0,628	0,263	0,006
0,006	0,007	24,7	5,2	0,996	0,019	0,23
0,6	7	1,647	1,733	1,992	0,238	0,006
0,022	0,006	22,3	3,8	0,611	0,02	1,19
2,2	6	1,487	1,267	1,222	0,25	0,03
0,045	0,005	12,3	2,6	0,511	0,028	0,29
4,5	5	0,82	0,863	1,022	0,35	0,007
0,024	0,006	21,3	4,0	0,664	0,017	1,18
2,4	6	1,42	1,32	1,328	0,213	0,03
0,042	0,005	12,3	2,7	0,469	0,028	0,32
4,2	5	0,82	0,907	0,938	0,35	0,008
0,005	0,015	24,3	3,6	0,966	0,015	0,14
0,5	15	1,62	1,2	1,932	0,188	0,003
0,005	0,016	27,4	3,8	1,922	0,019	0,21
0,5	16	1,827	1,267	3,844	0,238	0,005
			4,22	0,305	0,027	0,384
			1,407	0,61	0,338	0,01
		4,01	3,5	0,392	0,052	1,782
		0,267	1,167	0,784	0,65	0,045
			7,59	0,442	0,036	0,32
			2,53	0,884	0,45	0,008
		5,64	5,35	0,889	0,055	1,353
		0,376	1,783	1,778	0,688	0,034

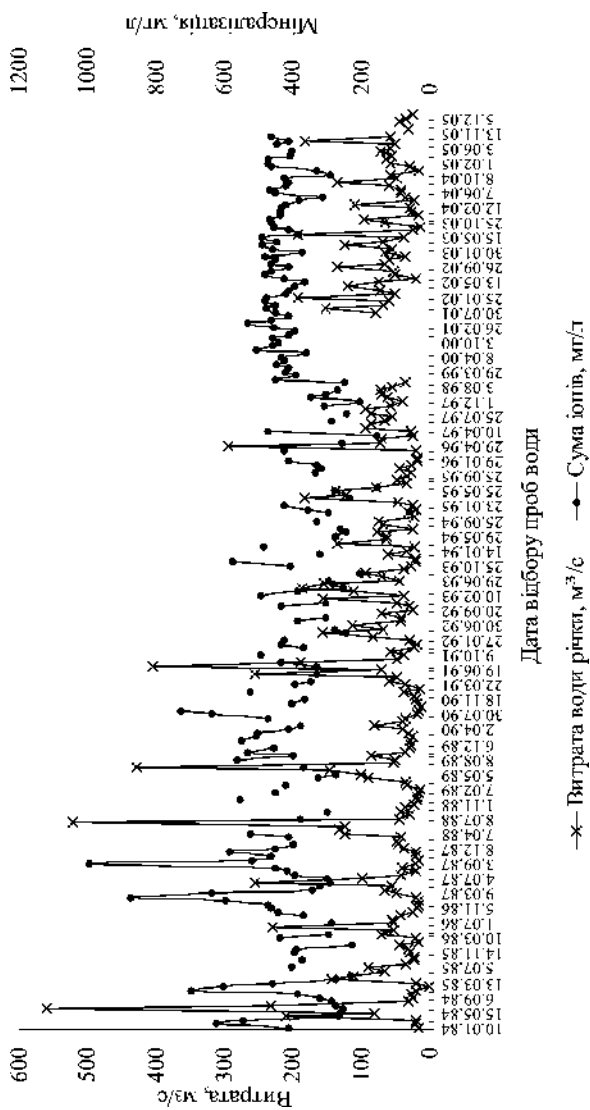


Рис. 2. Витрата та мінералізація води р.Прут за період з 1984р. по 2005 р. (3,0 км нижче м. Чернівці)

- при помірній дії природних і техногенних факторів відбувається відновлення водного середовища, що підтверджується нормативним (або близько до нього) рівнем забруднюючих речовин та інтегральними показниками;
- у разі, коли водна екосистема переходить до іншого стану розвитку (під дією антропогенних чинників), відбувається якісне виснаження природних вод (за умов різкого перевищення політантів у воді), що призводить до порушення гомеостатичного механізму і виникають передумови до порушення процесу самоочищення. Саме за таких умов (табл. 3) слід визначати лімітуючі фактори розвитку водних екосистем з метою розробки природоохоронних заходів.

Аналіз даних таблиці 3 дозволяє констатувати наступне:

- вісім забруднюючих речовин у воді мають перевищення ГДК від двох до десятків разів у більшості періодів (часовий фактор) на окремих ділянках (просторовий фактор) р.Прут; саме ці політанти створюють передумови для якісного виснаження природних вод;
- сумарні інтегральні показники — БСК і ХСК також діють як лімітуючі фактори та спричиняють ті ж само наслідки;
- виникає питання, а чому ці показники не враховують у визначенні індексу забрудненості води та якості води в цілому (при використанні нормативної методики).

На наш погляд, ця методика в силу своєї відносності практично не придатна для визначення якості природних вод в умовах стійкого техногенного впливу. У зв'язку з цим нами обрано методику [6] визначення класу якості води з урахуванням більшого числа сумарних, інтегральних та окремих показників забруднення води. Ця методика включає систему із 18 формалізованих оціночних показників. Основа методу — диференційовані та комплексні підходи, які різнобічно характеризують стан водного об'єкта одночасно по широкому переліку інгредієнтів, і тому дають можливість класифікувати воду по ступеню її забрудненості. Наші припущення щодо впливу всіх лімітуючих факторів на визначення класу якості води справдилися. Ступінь забрудненості і розряд якості води більш інформативно показують зміни у водних екосистемах в залежності від напруженості екологічної ситуації в регіонах протікання р. Прут. В порівнянні з нормативною мето-





Таблиця 4 — Класи якості і ступінь забрудненості води р. Прут за комплексною оцінкою якості води, яка включає 18 формалізованих оціночних показників

Створ	Період досліджень	Клас і розряд якості води	Ступінь забрудненості води
м. Коломия, 0,5 км вище міста	1984—1995 рр.	4а	Брудна
	1997—2005 рр.	3б	Дуже забруднена
м. Коломия, 0,5 км нижче міста	1984—1995 рр.	4а	Брудна
	1997—2005 рр.	4а	Брудна
м. Яремча, 0,5 км вище міста	1978—1983 рр.	4а	Брудна
	1986—1995 рр.	4а	Брудна
	1996—2005 рр.	4а	Брудна
м. Яремча, в межах міста	1961—1972 рр.	3б	Дуже забруднена
	1982—1995 рр.	4а	Брудна
	1996—2005 рр.	4а	Брудна
м. Чернівці, 1-3,5 км вище міста	1955—1965рр.	3б	Дуже забруднена
	1966—1975рр.	4а	Брудна
	1976—1985рр.	4б	Брудна
	1986—1995рр.	4а	Брудна
	1996—2005рр.	3б	Дуже забруднена
м. Чернівці, 1-3 км нижче міста	1971—1985рр.	4а	Брудна
	1986—1995рр.	4а	Брудна
	1996—2005рр.	4а	Брудна
м. Чернівці, 7 км нижче міста	1986—1995рр.	4а	Брудна
	1996—2005рр.	4а	Брудна
м. Чернівці, 11,5 км нижче міста	1973—1985рр.	4а	Брудна
м. Чернівці, 13,5 км нижче міста	1973—1985рр.	4б	Брудна
с. Ленківці	1971—1980 рр.	4а	Брудна
	1981—1988 рр.	3б	Дуже забруднена
с. Магала	1971—1980 рр.	4а	Брудна
	1981 — 1988 рр.	4а	Брудна

2) у водній екосистемі інтенсивність прояву впливу антропогенних факторів знаходиться на межі пристосувальних реакцій живих організмів (перевищення ГДК антропогенних домішок у воді досягає декількох разів);

3) у водній екосистемі проявляється негативний вплив за рахунок перевищення компенсаційних можливостей природної сис-

теми і відбувається якісне виснаження води (перевищення ГДК антропогенних домішок у воді у десятки разів).

— Усі три рівні розвитку водної екосистеми р.Прут встановлені нами за окремі часові відрізки. Серед першочергових природоохоронних заходів необхідно математичним шляхом визначити прогноз подальшого розвитку водної екосистеми.

\* \* \*

1. *Звіт* про стан навколишнього природного середовища в Чернівецькій області в 2001—2006 рр. Міністерство охорони навколишнього природного середовища України.

2. *Звіт* про стан навколишнього природного середовища в Івано-Франківській області в 2005 рр. Міністерство охорони навколишнього природного середовища України.

3. *Сніжко С.І.* Оцінка і прогнозування якості природних вод. Київський національний університет ім. Тараса Шевченка. — К.: Ніка-Центр, 2001. — 264 с.

4. *Удод В.М., Яців М.Ю.* Динаміка змін показників якості води р.Прут на різних її ділянках // Екологічна безпека та природокористування. — К., 2008. — Вип.1. — С. 42—60.

5. *Яців М.Ю.* Оцінка екологічного стану річки Прут, як джерела води для централізованого водопостачання // Екологія і ресурси. — К., 2008. — Вип.19. — С. 143—155.

6. *Никаноров А.М., Ємельянова В.П.* Комплексная оценка качества поверхностных вод суши // Водные ресурсы. — 2005. — Т. 32. — № 1. — С. 61—69.

7. *ГОСТ 2761—84.* Источники централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения. Гигиенические технические требования и правила выбора.

8. *Стольберг Д.В.* Экология города. — К.: Либра, 2000. — 464 с.

***Публікація реалізована в рамках проекту за рахунок коштів гранта Президента України для обдарованої молоді.***

*Отримано: 29.09.2008 р.*

УДК:656.71:504.43/45 (045)

## **ВДОСКОНАЛЕННЯ КОНТРОЛЮ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ҐРУНТУ НА ПРИЛЕГЛИХ ДО АВІАПІДПРИЄМСТВ ТЕРИТОРІЯХ**

С.М. Маджд

Г.М. Франчук, д-р техн. наук, проф.  
(Національний авіаційний університет)

*Розглянуто вплив авіатранспортних процесів на якість ґрунту поблизу авіапідприємств. Наведено результати дослідження проб ґрунту. Встановлено ступінь забруднення ґрунтів важкими металами. Здійснено екологічну оцінку ґрунтового покриву для забезпечення екологічно безпечного середовища поблизу авіапідприємств.*

*Рассмотрено влияние авиатранспортных процессов на качество почвы в окрестностях авиапредприятий. Представлены результаты исследований проб почвы. Проведено экологическую оценку почвенного покрова для обеспечения экологически безопасной среды около авиапредприятий.*

*Influence of aviatransport processes on quality of ground in vicinities of aviation enterprises is considered. Results of researches of tests of ground are presented. It is lead an ecological estimation of a soil cover for maintenance of ecologically safe environment about aviation enterprises.*

Однією з найважливіших екологічних проблем є стан довкілля, що інтенсивно забруднюється продуктами техногенезу. У зв'язку з цим виникає необхідність вивчення поведінки сполук техногенного походження в компонентах довкілля і, особливо, у ґрунтах, що акумулюють майже 90% забруднювачів, які в них надходять [1].

Ґрунтовий покрив являє собою систему менш динамічну і більш буферну, ніж атмосферне повітря чи водойми. Одна з особливостей ґрунту полягає в тому, що він накопичує інформацію про процеси і зміни, які відбуваються, і тому може служити своєрідним свідченням не тільки миттєвого стану середовища, але і відображати минулі процеси [2].

© С.М. Маджд, Г.М. Франчук, 2008

Ґрунти здійснюють протекторну роль стосовно природних вод, атмосфери і рослинності. Але в той же час, виконуючи захисні функції, ґрунти можуть стати основним джерелом багатьох хімічних речовин, що забруднюють природні води і небезпечні для рослин.

Найбільшу небезпеку серед забруднювачів становлять важкі метали. Ці полютанти мають канцерогенний та токсикологічний вплив на живі об'єкти.

Оцінки просторових масштабів впливу промислових центрів на забруднення ґрунтів важких металів суперечливі. В одних роботах [3, 4] цей вплив оцінюється в кілька кілометрів, у низці інших робіт — у десятки кілометрів, аж до 100 км [5]. Очевидно, суперечливість оцінок відбиває об'єктивні закономірності залежності радіуса зони забруднення від низки чинників: інтенсивності, висоти і тривалості викидів, рельєфу, клімату в навколишній місцевості і т. д.

Вплив людської діяльності на забруднення ґрунту важкими металами вивчено на сьогодні недостатньо.

Метою роботи було визначення кількісного хімічного складу ґрунтового покриву на вміст важких металів на територіях прилеглих до авіапідприємств.

Відбір проб ґрунтового покриву — поверхневого шару та із зануренням на 20 см вглиб здійснювався посезонно поблизу аеропорту «Київ» та авіаремонтного заводу № 410 на відстані 20 м, 100 м, 250 м, 500 м, 1000 м.

Ґрунти в районі дослідження за механічним складом належать до суглинків і схильні до розмокання [6].

При відборі проб для контролю забруднення ґрунту і оцінки його якісного стану застосовано показники, що підлягали контролю, вибирались із застосуванням ГОСТ 17.4.2.01—81 та ГОСТ 17.4.3.01—83 [7, 8].

Контроль забруднення ґрунтів в зоні діяльності авіапідприємств проводився з урахуванням метеорологічних умов, рельєфу місцевості та спеціальних характеристик району.

В ході роботи було намічено 2 ділянки площею 25 м<sup>2</sup> кожна. Одна -дослідна, в зоні впливу авіатранспортних процесів, інша — контрольна на техногенно незабрудненій території.

Згідно з ГОСТ 17.4.2.03—86 [9], проби ґрунту, які призначались для визначення важких металів, відбиралися інструментами, які не містили металів.

Положення точок відбору відмічалось на карті. Відмічені точки служили опорними пунктами при виборі місця відбору проби [10].

Відбір проб ґрунтів здійснювався методом «конверту» розміром 5×5 м. Об'єднану пробу складали шляхом змішування п'яти точкових проб, взятих з одного майданчика. Маса об'єднаної проби становила не менше ніж 1 кг [7–9].

Для аналізу розподілу важких металів у ґрунті коренева система рослин залишалась у пробі.

Порівнюючи глибину міграції важких металів у ґрунті без рослинності і з рослинністю, можна зазначити в останньому випадку трохи більшу глибину їхнього проникнення. Очевидно, це пов'язано із впливом кореневої системи рослин, що сприяє незначному збільшенню проникнення важких металів у середину товщі ґрунту.

Результати визначення вмісту важких металів на атомно-абсорбційному спектрометрі в пробах ґрунту, відібраних на територіях прилеглих до авіапідприємств, наведені на рис. 1–7.

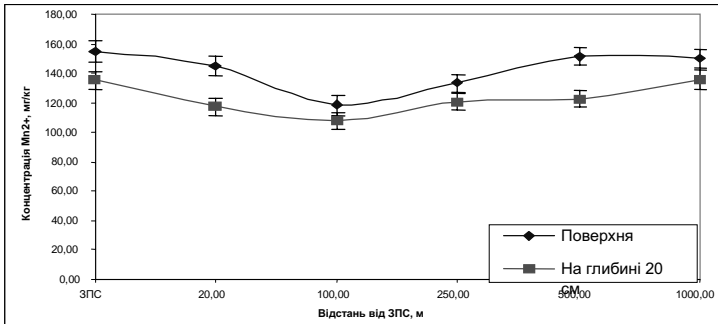


Рис. 1. Вміст марганцю у ґрунті,  $M \pm m$ ;  $n=9$ .

Вміст марганцю у відібраних пробах не перевищував вміст допустимої концентрації, але перевищував значення умовного контролю в пробах поверхневого ґрунту в 1,5–2 рази та в 1,4–1,8 рази в пробах ґрунту відібраних на глибині 20 см (рис. 2).

Концентрація міді перевищувала допустимі норми в усіх пробах. Так, у пробах поверхневого ґрунту встановлене перевищення її вмісту поблизу ЗПС у 3 рази, на відстані 20 м — у 2,3 рази, на відстані 100 м — у 1,9 рази, на 250 м — 1,7 рази, на 500 м

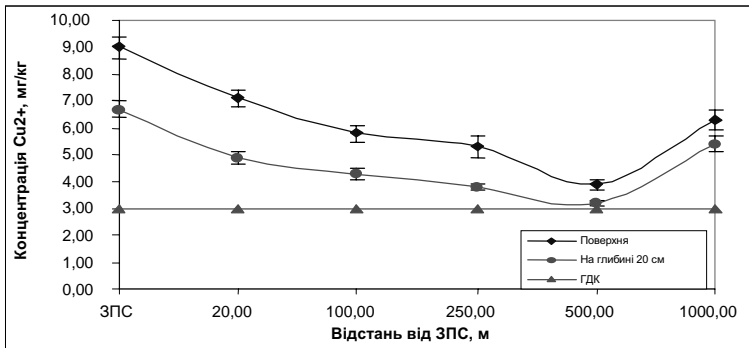


Рис. 2. Вміст міді у ґрунті,  $M \pm m$ ;  $n=9$ .

у 1,3 раза і на 1000 м — 2,1 раза. Вміст міді перевищував умовний контроль значення в поверхневих пробах у 10,6—18 разів.

У ґрунті, відібраному на глибині 20 см, концентрація міді перевищувала ГДК у 22,3 раза поблизу ЗПС, в 16,3 раза на відстані 20 м, в 1,4 раза на відстані 100 м, 1,2 на відстані 250 м, 1,1 на відстані 500 м та в 1,8 на відстані 1000 м. В пробах, відібраних на глибині 20 см вміст міді, перевищує умовний контроль у 10,6—22,3 раза.

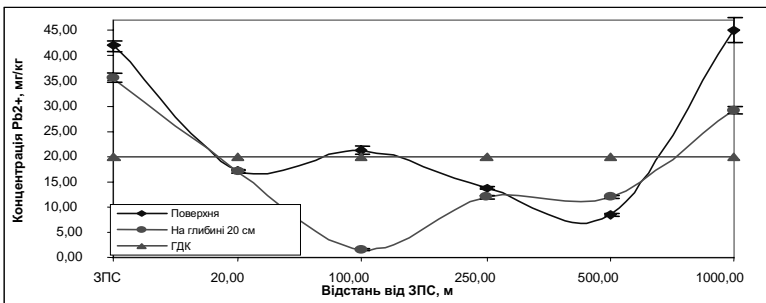


Рис. 3. Вміст свинцю у ґрунті,  $M \pm m$ ;  $n=9$

Перевищення концентрації свинцю по відношенню до ГДК відмічено в поверхневому ґрунті поблизу ЗПС у 2 рази, на відстані 100 м — у 1,1 раза на 1000 м — у 2,2 раза. У ґрунті, взятому з глибини 20 см, кількість свинцю збільшилась у 1,7 раза біля ЗПС та на

відстані 1000 м — у 1,4 раза. Значне перевищення вмісту свинцю порівняно з концентраціями умовного контролю відмічено в усіх пробах ґрунту. Так у поверхневому ґрунті встановлено перевищення вмісту свинцю порівняно з умовним контролем у 9,4—50 разів, а в ґрунті, відібраному на глибині 20 см, у 16—356 разів.

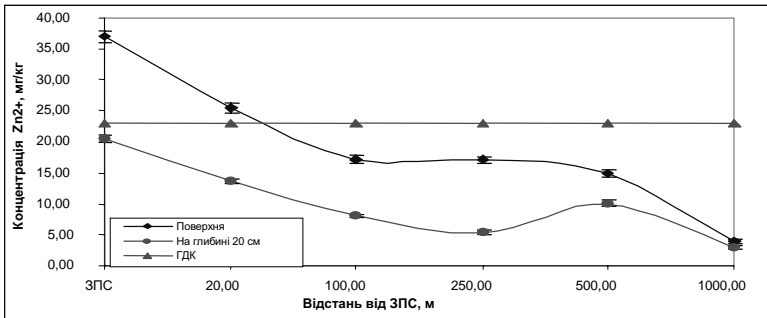


Рис. 4. Вміст цинку в ґрунті,  $M \pm m$ ;  $n=9$ .

На дослідженій території виявлено перевищення цинку по відношенню до ГДК у 1,6 раза тільки у поверхневому ґрунті поблизу ЗПС, та на відстані 20 м — у 1,1 раза. Концентрація цинку в усіх пробах ґрунту перевищує концентрації умовного контролю. В поверхневих пробах ґрунту встановлено перевищення цинку поблизу ЗПС у 5,5 раза, на відстані 20 м — у 3,8 раза, 100 та 250 м — у 2,5 раза, на 500 м — у 2,2 раза. В пробах, відібраних на глибині 20 м, виявлено перевищення в 4,8 раза поблизу ЗПС, на 20 м — у 3,2 раза, на 100 м — у 1,9 раза, на відстані 250 м — у 1,2 раза та на 500 м — у 2,3 раза (рис. 5).

В зоні впливу авіатранспортних процесів встановлено перевищення хрому по відношенню до нормативної концентрації лише у поверхневому ґрунті біля ЗПС в 9 разів та на відстані 20 м — у 3,8 раза. В той же час вона була більшою в 3 рази в точці відбору поблизу ЗПС та на відстані 20 м — не перевищувала норматив, відібраних на глибині 20 см. Концентрація хрому перевищує значення умовного контролю в пробах, відібраних на глибині 20 см — у 75 разів біля ЗПС, на відстані 20 м — у 25 разів та на 100 м — у 5 разів.



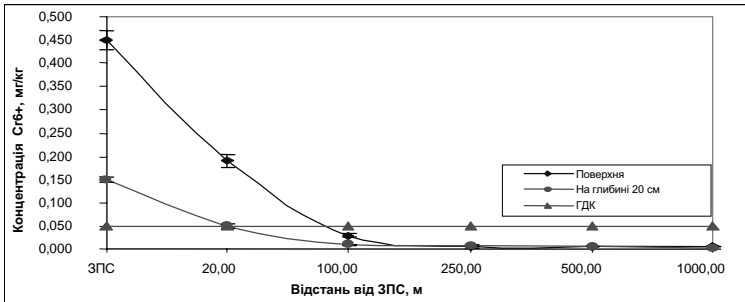


Рис. 5. Вміст хрому в ґрунті,  $M \pm t$ ;  $n=9$ .

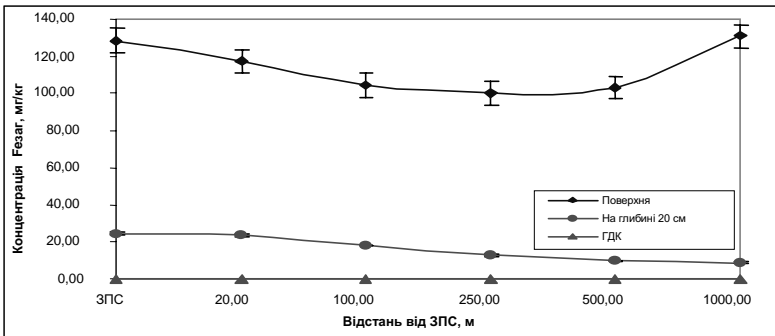


Рис. 6. Вміст заліза в ґрунті,  $M \pm t$ ;  $n=9$ .

Концентрація заліза в ґрунті не нормується. Але вміст заліза в усіх пробах ґрунту значно перевищує значення умовного контролю. Варто відмітити, що у поверхневому шарі ґрунту концентрація заліза по відношенню до умовного контролю була вищою в 9,9 раза поблизу ЗПС, у 9 разів — на відстані 20 м, та в 8 разів на відстані 100 м, у 7,6 раза на відстані 250 м, у 7,9 раза — на 500 м та в 10 разів — на відстані 1000 м. Значення умовного контролю перевищується і в ґрунті, відібраному на глибині 20 см, — у 30 разів біля ЗПС, у 29,5 раза — на відстані 20 м, у 22,5 раза — на 100 м, у 16,2 раза — на 250 м, у 12,5 раза — на 500 м і в 11 разів на відстані 1000 м.

Дослідження ґрунтових проб в зоні впливу авіатранспортних процесів не виявили перевищення кадмію, нікелю по відношенню до ГДК.

Класифікація ґрунтів за ступенем забруднення важкими металами проводилась згідно з ГОСТ 17.4.2.03—86 [9]. Досліджені ґрунти на територіях, прилеглих до авіапідприємств, на підставі цього нормативного документу є сильнозабруднені свинцем та міддю; середньозабруднені цинком та хромом і слабозабруднені нікелем.

Проаналізувавши експериментальні дані, можна зробити висновок, що найбільший вміст у ґрунтах території авіапідприємств спостерігався для міді та свинцю, а порівняно менший — для цинку і хрому. Практично не перевищували концентрації умовного контролю ґрунти за вмістом марганцю.

Як і за літературними даними, важкі метали більше накопичуються на поверхні ґрунту, ніж на глибині 20 см.

Визначена залежність забруднення ґрунтів важкими металами з віддаленістю від злітно-посадочної смуги. Найбільше забруднення металами ґрунтів спостерігалось біля ЗПС.

Нагромадження важких металів у пришляховій смугі призводить до забруднення екосистем і робить прилеглі до авіапідприємств ґрунти непридатними для сільськогосподарського використання.

\* \* \*

1. *Клименко Л.П.* Техноекологія. — Сімферополь: Таврія, 2000. — 544 с.

2. *Глазовская М.А., Касимов Н.С.* Ландшафтно-геохимические основы фонового мониторинга природной среды. — М.: Наука, 1989. — 246 с.

3. *Пахотина Н.С.* Санитарно-гигиеническая оценка промышленных выбросов свинцово-цинкового комбината // Гигиена и санитария. — 1958. — № 4. — С. 34—41.

4. *Тарчевский В.В.* Влияние дымо-газовых выделений промышленных предприятий Урала на растительность // Растения и промышленная среда. — Свердловск: Изд. Свердловского ун-та, 1964. — С. 61—78.

5. *Горстков А.Б., Домбровский Ю.А.* Модели управления эколого-экономическими системами. — М.: Наука, 1994. — 120 с.

6. *Наконечный Й.Й.* Моніторинг навколишнього середовища ряду регіонів України: Дис. канд. техн. наук: 03.00.16. — Чернівці, 2000. — 213 с.

7. *ГОСТ 17.4.2.01-81*. Охрана природы. Почвы. Номенклатура показателей санитарного состояния.

8. *ГОСТ 17.4.3.01—83*. Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб.

9. *ГОСТ 17.4.2.03-86*. Охрана природы. Почвы. Паспорт почв.

10. *Никаноров А.М.* Гидрохимия: Учеб. пособ. — Л.: Гидрометеоздат, 1989. — 576 с.

*Отримано: 05.09.2008 р.*

УДК 551.465

## ГІС/ДЗЗ ТЕХНОЛОГІЇ В ВЕДЕННІ МОНІТОРИНГУ В БАСЕЙНІ ТРАНСКОРДОННОЇ РІЧКИ СІВЕРСЬКИЙ ДОНЕЦЬ

Є.С. Анпілова, аспірантка  
(Інститут проблем національної безпеки  
при РНБО України)

О.С. Волошкіна, д-р техн. наук, проф.  
(Київський національний університет  
будівництва і архітектури)

О.М. Трофимчук, д-р техн. наук, проф.  
(Інститут телекомунікацій та глобального  
інформаційного простору НАН України)

Стаття стосується питань ведення моніторингу на транскордонному створі р. Сіверський Донець, застосовуючи ГІС/ДЗЗ-технологію. За даними статистичної державної звітності підприємств (форма 2ТП-водгосп) розроблено блок оцінки якості води в районі транскордонного створу з Російською Федерацією в Луганській області, який у поєднанні з програмним забезпеченням ArcGIS 9.2 може слугувати потужним інструментом для здійснення якісного моніторингу в басейні р. Сіверський Донець.

В статье затрагиваются вопросы ведения мониторинга на трансграничном створе р. Северский Донец используя ГИС/ДЗЗ технологии. Используя данные статистической государственной отчетности предприятий (форма 2ТП-водгосп) разработан блок оценки качества вод в районе трансграничных створов на границе Ростовской области Российской Федерации и Луганской области Украины, который в сочетании с программным обеспечением ArcGIS 9.2 служит мощным инструментом для осуществления качественного мониторинга бассейна р. Северский Донец.

Issues of monitoring at the transboundary cross-section of the Severskiy Donetsk River with the use of GIS/DZE technology are considered in this article. The Block for evaluation of water quality in the region of transboundary cross-sections at the border of the Rostov Region of Russian Federation and the Lugansk Region of Ukraine was developed with the use of enterprises

© Є.С. Анпілова, О.С. Волошкіна, О.М. Трофимчук, 2008

*state statistical reporting data (2TP-vodgosp form). Together with the ArcGIS 9.2 software, the Block is a powerful instrument for effective monitoring of the Severskiy Donets River.*

Виникнення проблеми управління водними ресурсами транс-кордонних річкових басейнів значним чином пов'язано з появою незалежних держав з колишніх республік Радянського Союзу.

Так, у зв'язку з набуттям України статусу незалежної держави з'явилась взаємозалежність України та Російської Федерації у відносинах використання водних ресурсів, що викликана транс-кордонним характером басейну річки Сіверський Донець.

З точки зору міжнародного права Сіверський Донець є двічі транс-кордонним, оскільки з Белгородської області Російської Федерації він потрапляє в Харківську, Донецьку, Луганську області України і далі в Ростовську область Російської Федерації. Значного антропогенного навантаження зазнає екосистема річки в межах України, на території Луганської області, що призводить до цілого комплексу негативних процесів.

Відомо, що методи спостереження за навколишнім середовищем можна поділити на дві великі групи [4]:

- контактні методи вимірювання;
- дистанційні методи зондування Землі.

Сьогодні ефективним засобом у вирішенні питань управління водними ресурсами є сучасні ГІС технології. Це підтверджено не тільки, прийнятими на державному рівні документами [1, 2, 3] та існуючим досвідом роботи, вирішенням подібних питань багатьма науковцями [4, 5, 6, 7, 8]

Для проведення аналізу фактичного стану якості води, візуалізації натурних даних, їх якісного дослідження на основі тематичної ГІС, розроблено блок оцінки якості води, який дає змогу отримувати таблиці та діаграми стану якості води за створами Державної гідрометеорологічної служби України (далі Держгідромет України), інформацію про скиди у річку різноманітних забруднюючих речовин та участі підприємств, що звітуються за формою 2ТП-водгосп, у забрудненні басейну транс-кордонної річки Сіверський Донець сукупністю забруднюючих речовин.

За допомогою програмного забезпечення ArcGIS 9.2, що відповідає постановам [1, 2, 3], на електронну базову карту масштабу 1:200 000 були нанесені пункти спостережень Держгідромету України

за якістю води в межах Луганської області та джерела скидів забруднюючих речовин, а саме підприємства, що звітуються за статистичною державною формою 2ТП-водгосп.

Топографічна основа базової карти слугує для візуалізації результатів дослідження та просторового аналізу. Кожний шар ГІС вміщує групу однотипних елементів, які об'єднані в окремі папки: рельєф, гідрографічна мережа, населені пункти, комунікації, дороги, ліси, контури меж районів та області.

Тематична інформація була представлена у вигляді шарів, виражених точковими об'єктами:

- локалізація створів Держгідромету України;
- локалізація водокористувачів, що звітуються за формою 2 ТП (водгосп)

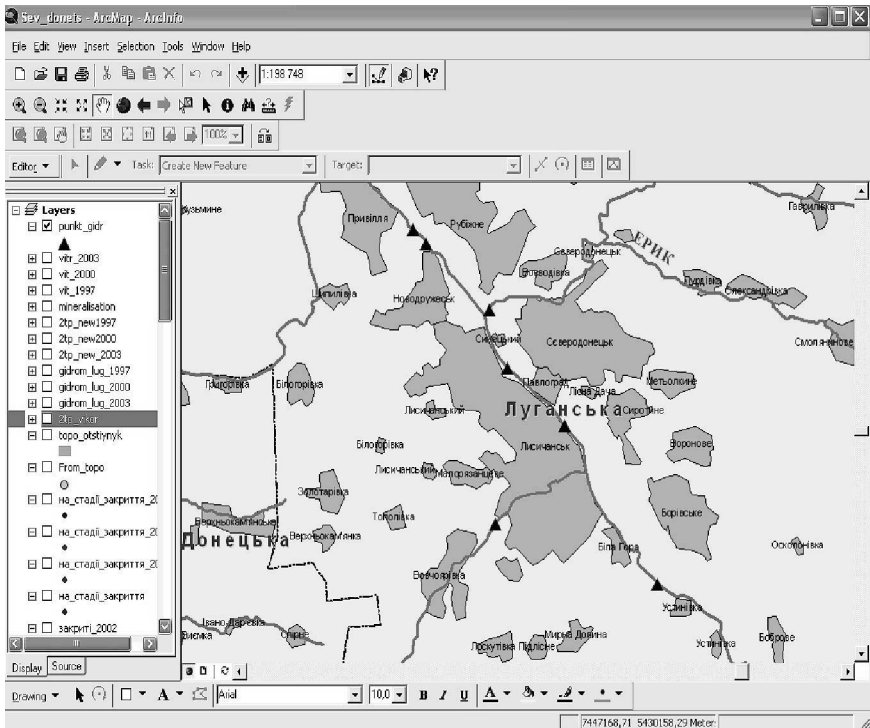


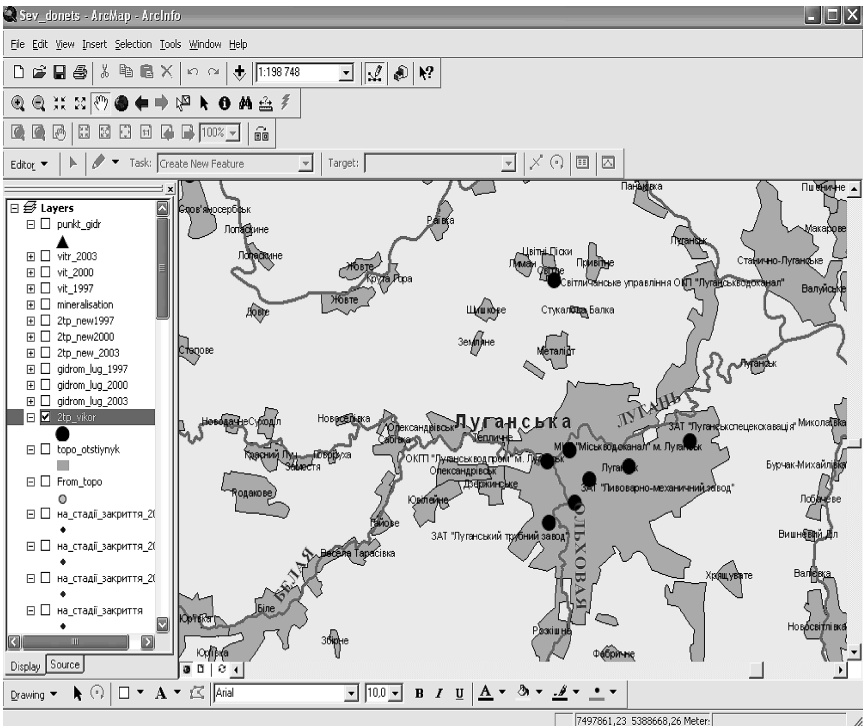
Рис. 1. Локалізація пунктів спостереження Держгідромету.

Так наприклад створи Держгідромету включають гідрохімічні показники (Na, Cl, SO<sub>4</sub>, Ca, Mg, HCO<sub>3</sub>, мінералізація) (рис. 1).

ГІС шар з географічним місцеположенням підприємств, який супроводжується атрибутивною інформацією з назвою підприємства, характеристикою випусків, параметрами водопотреби та водовідведення, величинами речовин (Cl, SO<sub>4</sub>, Fe, завислі речовини, сухий залишок, фосфати), що скидають, які отримані з форм статистичної звітності 2ТП–водгосп (рис. 2, 3).

Участь суспільства у космічних дослідженнях підтверджується всебічним застосуванням матеріалів, які отримують з супутників.

За допомогою космічних знімків, наданих Державним науково-виробничим центром «Природа», які в свою чергу були отримані



*Рис. 2. Схема розміщення підприємств, що звітують за формою 2ТП–водгосп.*

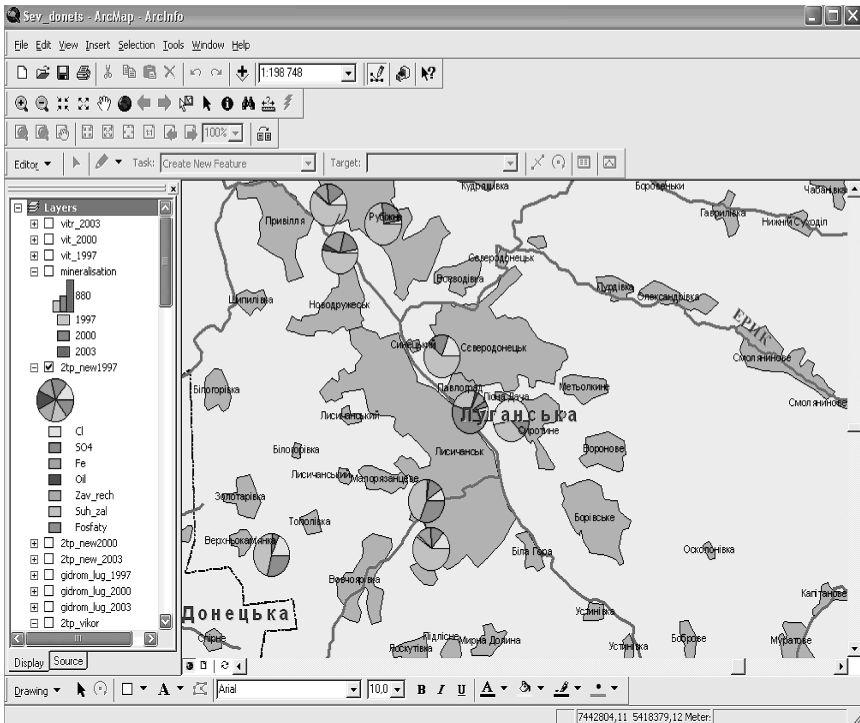


Рис. 3. Ранжування за забруднюючими речовинами, які скидають підприємства.

з супутників «Ресурс», «Landsat-7» та «Метеор-3М», а також „QuickBird» у період з 1986 по 2006 р., здійснювався моніторинг долини р. Сіверський Донець у межах Луганської області.

Аналіз спектральних характеристик води на основі даних дистанційного зондування є одним з перспективних методів дослідження якості води та виявлення джерел забруднення. Однак гідрологічні особливості Сіверського Донця, незарегульованість стоку, турбулентне перемішування вод тощо, не дають можливість застосувати ці методи для дослідження проточних вод. Лише на одному зі знімків, що був отриманий під час повені 2002 р., було виділено ділянки русла, придатні для кількісної інтерпретації. Для виконання поставленого завдання було виділено малі водойми у басейні річки, у яких відсутня течія і значне перемішування вод.



Серед них були як природні, так і штучні водойми. Серед перших – здебільшого, озера-стариці у заплаві, серед других – переважно відстійники промислових і комунальних підприємств, золовідвали тощо. Відбиваюча здатність чистої води різко зменшується із збільшенням довжини хвилі (4% для  $\lambda = 0,65$  мкм і менша від 1% для  $\lambda = 0,75$  мкм). Вода із домішками краще відбиває енергію і тому відрізняється на знімках від чистої і прозорої води, причому не тільки у видимому діапазоні спектру. Забруднена вода характеризується майже втричі більшим альбедо і максимумами у «жовтій» та «червоній» діапазонах видимої ділянки спектру.

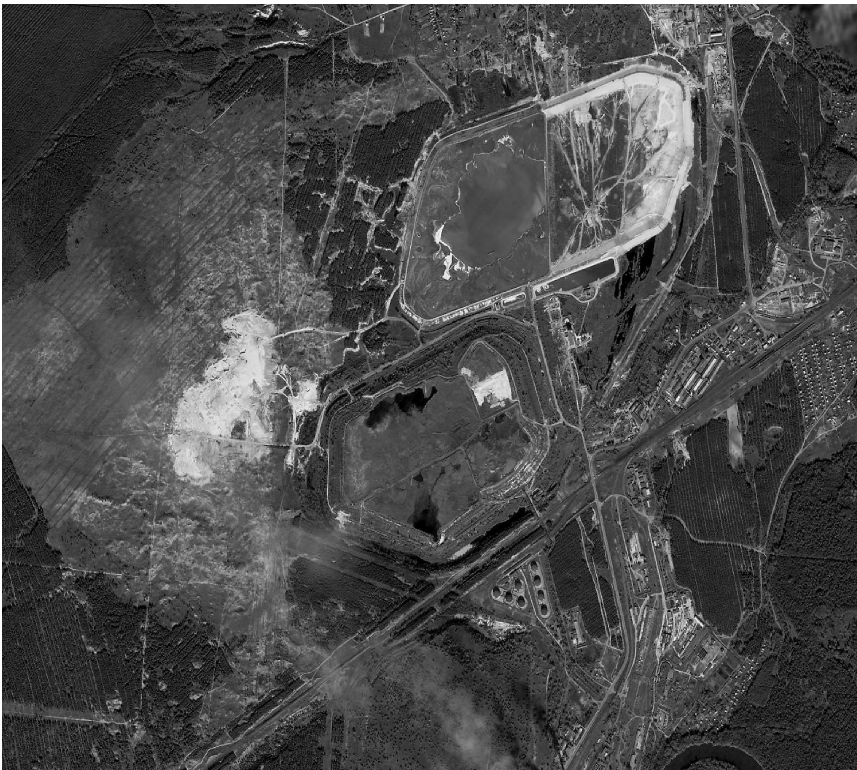
На всіх без винятку космічних знімках в оптичному діапазоні за спектральними характеристиками виділяються відстійники дистилерної рідини ВАТ «Лисичанська сода». Склад відходів виробництва зумовлює спотворення оптичних характеристик цих вод. Вони мають аномальну яскравість у «жовтій» та «блакитній» зонах спектру, а



*Рис. 4. Відстійники дистилерної рідини ВАТ «Лисичанська сода» на знімку Landsat-7*

також високу сумарну яскравість. Хроматично ці відстійники виділяються абсолютно на всіх синтезованих зображеннях (рис. 4).

За спектральними характеристиками, зумовленими вмістом розчинених і завислих речовин у воді і, відповідно, збільшенням розсіювання світла і зменшенням прозорості води виділяються також очисні споруди у районі Кремінної, золівідвали Луганської теплової електростанції у районі м. Щастя (рис. 5), відстійники об'єднання «Азот», очисні споруди на східній околиці м. Луганська. Останні характеризуються максимальними значеннями яскравості при  $\lambda = 0,55$  мкм і мінімальними – при  $\lambda = 0,41$  мкм, що може пояснюватися високим вмістом розчинених органічних речовин у водах.



*Рис. 5. Золівідвали Луганської теплової електростанції (м. Щастя) на космічному знімку QuickBird.*

Поєднавши методи ГІС та ДЗЗ технології ми маємо максимальні можливості для здійснення якісного моніторингу транскордонної річки Сіверський Донець, який дає змогу оперативно відслідковувати всі зміни у кожному об'єкті в часі та аналізувати їх сукупний вплив на процеси формування якості поверхневих вод на будь-якій ділянці цієї річки та у підсумку сприяє ефективному прийняттю управлінських рішень у вирішенні проблем ефективного управління екологічною безпекою, раціональним природокористуванням на державному та регіональному рівнях.

\* \* \*

1. *Постанова* Кабінету Міністрів України № 1198 від 3 серпня 1998 року «Про єдину державну систему запобігання і реагування на надзвичайні ситуації техногенного та природного характеру».

2. *Постанова* Кабінету Міністрів України № 2303 від 16 грудня 1999 року «Про створення урядової інформаційно-аналітичної системи з питань надзвичайних ситуацій».

3. *Закон України* від 17 січня 2002 р. № 2988 ІІІ «Про Загальнодержавну програму розвитку водного господарства».

4. *Красовський Г.Я., Петросов В.А.* Інформаційні технології космічного моніторингу водних екосистем і прогнозу водоспоживання міст. — К.: Наук. думка, 2003.

5. *Довгий С.О., Лялько В.І., Трофимчук О.М., Федоровський О.М. та ін.* Інформатизація аерокосмічного землезнавства. — К.: Наук. думка, 2001. — 608 с.

6. *Мокін В.Б., Боцула М.П., Горячов Г.В., Давиденко О.В., Катононов А.І., Яцолт А.Р.* Комп'ютеризовані регіональні системи державного моніторингу поверхневих вод: моделі, алгоритми, програми. — Вінниця: «УНІВЕРСАМ-Вінниця», 2005. — 310 с.

7. *Дончиц Г.В., Железняк М.И., Трибушний Д.М., Хойби Я.* Интеграция ГИС в моделирующие системы прогнозирования загрязнения поверхностных вод. — Геоинформатика. — К.: Центр менеджменту та маркетингу в галузі наук про Землю ІГН НАНУ, 2006, № 3. — С. 62—68.

8. *Гитис В.Г., Ермаков Б.В.* Основы пространственно-временного прогнозирования в геоинформатике. — М.: ИЗМАЛИТ, 2004. — 256 с.

*Отримано: 04.09.2008 р.*

---

---

## **Розділ 2. Основи природокористування та безпека життєдіяльності**

---

---

УДК 696.03

### **ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БИОГАЗА В ФЕРМЕРСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ**

*А.В. Яковенко  
В.А. Сербин, доц., канд. техн. наук  
(Донбасская национальная академия  
строительства и архитектуры)*

*Изучены возможности использования биогаза как альтернативы природного газа, используя переработку отходов сельского хозяйства. Предложена установка для образования биогаза (метаантенк), методика расчетов и основных габаритов ее, технология процессов работы устройства. Научно обоснована эффективность использования биогаза в фермерском хозяйстве.*

*Вивчені можливості використання біогазу як альтернативи природному газу при переробці відходів сільського господарства. Запропонована установка для зброджування біогазу (метантенк), методика розрахунків та основних її параметрів, технологія процесів роботи установки. Науково обґрунтована ефективність використання біогазу в сільському господарстві.*

*Possibilities of use of the biogas as alternative to the natural gas are studied on the bases of agricultural wastes reprocessing. The biogas fermentation installation (metantenk), its calculation methodology, main dimensions, and operation technology are proposed. The efficiency of the use of biogas in agriculture is scientifically substantiated.*

© А.В. Яковенко, В.А. Сербин, 2008

### **Формулировка проблемы**

Высокие темпы развития газовой промышленности обуславливаются высокими эксплуатационными показателями газообразного топлива и рядом его преимуществ по сравнению с другими видами топлива. Наметился рост доли газообразного топлива в общем балансе потребления органического топлива. Ежегодно на Украине потребляется 70—75 млрд м<sup>3</sup> природного газа [1].

Однако в настоящее время количество природного газа, добываемого на Украине, достаточно лишь для покрытия потребностей коммунально-бытового комплекса. Для покрытия нужд промышленного комплекса используется в основном импортное газообразное топливо. Однако в связи с ограниченными ресурсами органического топлива наблюдается рост цен на него, что влечёт за собой необходимость привлечения дополнительных средств для покупки топлива. Поэтому поиск способов покрытия дефицита природного газа в нашей стране актуален на сегодняшний день. Частично разрешить возникающую проблему можно путём внедрения и использования альтернативных и возобновляемых источников энергии (энергия солнца, ветровых потоков, геотермальных вод, биомассы, твёрдых бытовых отходов и т. п.), потенциал которых на Украине достаточно велик.

### **Анализ предыдущих исследований**

В качестве альтернативы природному газу может быть биогаз, который можно получить, организовав переработку отходов сельского хозяйства путём сбраживания в анаэробных условиях. Сырьём для получения биогаза могут служить как отходы животноводческих ферм, так и отходы разных растений. При этом выход и состав биогаза зависит от состава исходного сырья [2, 3].

Ежегодно на Украине образуется более 3 млн т сухого вещества, содержащегося в органических отходах, а потенциал биомассы составляет 6,754 млн т у. т. в год [4].

### **Цель и формулировка задачи исследования**

Целью данной работы является анализ возможности получения и использования альтернативного источника энергии, в качестве которого принят биогаз, на фермерском хозяйстве из отходов сельскохозяйственного производства.

### **Изложение основного материала исследования**

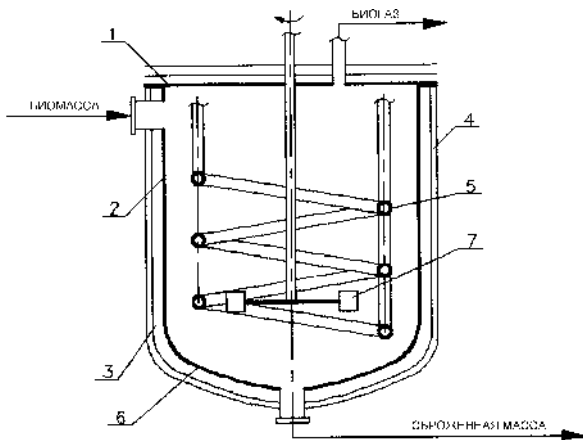
Анаэробное сбраживание биомассы осуществляется в герметически закрытых резервуарах — метантенках. В ДонНАСА разрабо-

## *Розділ 2. Основи природокористування та безпека життєдіяльності*

тана конструкция метантенка, принципиальная схема которого приведена на рис. 1.

Метантенк представляет собой герметичную цилиндрическую ёмкость 2 с овальным днищем 6. Метантенк оснащён патрубками подвода биомассы и отвода сброженной массы, а также патрубком отвода полученного биогаза. В конструкции предусматривается подогреватель 5, выполненный в виде змеевика, и турбинная мешалка 7, обеспечивающие подогрев сбраживаемой массы и стабилизацию выхода биогаза в метантенке. Для уменьшения тепловых потерь служит двухслойная тепловая изоляция 3 и 4.

Разработана методика определения количества биогаза, получаемого в процессе сбраживания биомассы, в зависимости от количества животных разных групп на ферме, состава кормов и подстилочных материалов и методика теплового расчёта процесса сбраживания, а также программа расчёта ориентировочных конструктивных габаритов метантенка. При расчёте габаритов метантенка программой предусматривается варьирование основных конструктивных размеров с учётом опыта эксплуатации аппаратов химического производства [5, 6].



*Рис. 1. Установка для сбраживания биомассы (метантенк)  
1 — крышка; 2 — корпус; 3, 4 — тепловая изоляция; 5 — подогреватель; 6 — днище; 7 — турбинная мешалка.*

Суточный объём получаемого биогаза,  $V_{\text{бр}}$ , м<sup>3</sup>/сут., определяется по формуле:

$$\begin{aligned} V_{\text{бр}} &= \sum_{i=1}^n V_1 + \sum_{i=1}^n V_{ik} + \sum_{i=1}^n V_j = \\ &= \sum_{i=1}^n n_1 \cdot m_{\text{с.в.}i} \cdot \sum_{i=1}^n r_1 \cdot n_i \cdot m_i \cdot (1 - w_i) \cdot V_{\text{уд.}i} + \\ &+ \sum_{i=1}^n g_1 \cdot n_i \cdot m_i \cdot (1 - w_i) \cdot V_{\text{уд.}j} \end{aligned} \quad (1)$$

где  $V_i, V_{ik}, V_j$  — объёмы биогаза, который образуется при сбраживании соответственно навоза, отходов кормов и подстилочных материалов, м<sup>3</sup>/сут.;  $n_i$  — количество голов животных соответствующей группы, шт.;  $m_i$  — масса суточного выхода навоза на одну голову соответствующей группы, кг/сут.;  $m_{\text{св}i}$  — масса сухого вещества в навозе одного животного соответствующей группы, кг/сут.;  $w_i, w_j$  — влажность соответственного вида кормов и подстилочных материалов, доли;  $V_{\text{бр}i}, V_{\text{уд}i}, V_{\text{уд}j}$  — удельный выход биогаза соответственно из разных видов навоза, отходов кормов и подстилочных материалов, м<sup>3</sup>/кг<sub>с.в.</sub>;  $r_i$  — часть кормов от массы навоза, которая удаляется вместе с ним;  $g_i$  — часть подстилочных материалов, которая удаляется вместе с навозом.

Годовой объём получаемого биогаза,  $V_{\text{бр}}^{\text{год}}$ , м<sup>3</sup>/год, составит:

$$V_{\text{бр}}^{\text{год}} = V_{\text{бр}} \cdot \tau, \quad (2)$$

где  $\tau$  — время работы установки, сут./год.

Содержание метана в получаемом биогазе,  $C_{\text{CH}_4}$ , % об., определяется по формуле:

$$C_{\text{CH}_4} = \frac{\sum_{i=1}^n V_i \cdot C_i + \sum_{i=1}^n V_{ik} + \sum_{i=1}^n V_j \cdot C_j}{\sum_{i=1}^n V_i + \sum_{i=1}^n V_{ik} + \sum_{i=1}^n V_j}, \quad (3)$$

## Розділ 2. Основи природокористування та безпека життєдіяльності

где  $C_{it}$ ,  $C_{ik}$ ,  $C_j$  — концентрация метана в биогазе, полученного из  $i$ -го компонента навоза;  $i_k$ -го компонента кормов;  $j$ -го компонента подстилочного материала, %<sub>об.</sub>

Низшая теплота сгорания биогаза,  $Q_{н.бг}^p$ , МДж/м<sup>3</sup>, определяет-ся по формуле:

$$Q_{н.бг}^p = Q_{н.СН_4}^p \cdot C_{СН_4}, \quad (4)$$

где  $Q_{н.СН_4}^p = 33,8$  МДж/м<sup>3</sup> — низшая теплота сгорания метана.

На интенсивность процесса сбраживания и получение биогаза влияют четыре фактора:

1) биологический (состав сбраживаемой массы, условия жизнедеятельности микроорганизмов, состав микрофлоры);

2) физический (температура сбраживания, давление в метантенке, гидравлический режим);

3) химический (кислотность среды, объём и состав получаемого биогаза, содержание летучих жирных кислот);

4) организационно-технологические (доза суточной загрузки новых порций сбраживаемой массы, нагрузка по беззольному веществу, содержание в биомассе веществ, которые не подвергаются переработке).

Влияние этих факторов учитывается при введении исходных данных для программы расчёта. Так, предусматривается анаэробное сбраживание биомассы в мезофильном режиме, который, как это подтверждено многочисленными исследованиями и практикой эксплуатации установок, протекает наиболее интенсивно в температурном интервале 32°—42°С, поэтому температура сбраживания принята равной 40°С. При этом наиболее активно «работают» метаногенные бактерии с максимальным образованием биогаза. Однако отклонение от оптимального интервала температур на  $\pm 5^\circ\text{C}$  приводит к уменьшению выхода биогаза в 2—2,5 раза, что свидетельствует о чувствительности бактерий к температуре среды и требует выполнения мероприятий по её поддержанию. Для поддержания требуемого температурного режима в метантенке предусматривается отбор и последующее сжигание в котлоагрегате 40% получаемого биогаза. Для расчёта задаётся планируемая дли-



тельность сбраживания, влажность сбраживаемой массы (90—97%), а также свободный объём метантенка. Перемешивание биомассы в метантенке способствует интенсивному контакту микроорганизмов с питательными веществами, интенсифицирует удаление биогаза и предотвращает образование корки на поверхности, что приводит к увеличению образования биогаза. Большинство метантенков работают при давлении, незначительно превышающем атмосферное. Наиболее благоприятная кислотность среды для жизнедеятельности отличается для разных групп бактерий, поэтому оптимальным считается значение рН 4,5—7,5.

Используя разработанные методики и программы, выполнен расчёт основных габаритных размеров метантенка для группы фермерских хозяйств по откорму 1500 свиней. Для расчёта задаются следующие исходные данные:

Число голов:	
Крупный рогатый скот	0
Свиньи	1500
Домашняя птица	0
Сбраживаемая масса:	
Температура сбраживания (32...42°C)	40
Длительность сбраживания, суток	10
Плановая влажность сбраживаемой массы (90.. .97%)	95
Свободный объём метантенка (5...10%)	7
Соотношения габаритных размеров:	
Высоты цилиндрической части к внутреннему диаметру, $m_1 = H:D$ (1...1,25)	1,16
Глубины овального днища к внутреннему диаметру, $m_2 = h_0 :D$ (0,11...0,21)	0,16
Внутреннего диаметра корпуса к наружному диаметру мешалки, $m_3 = D:d_M$ (3...4)	3,5
Внутреннего диаметра мешалки к диаметру витков змеевика, $m_4 = D :D_{3M}$ (1,3...1,5)	1,4
Расстояния от нижнего среза мешалки до нижней точки днища к диаметру мешалки, $m_5 = h_M :d_M$ (0,4... 1,0)	0,7
Доля биогаза, используемая для работы котельной (0,3.. .0,4)	0,4
Время работы установки в году (не менее 340 суток)	350

## Розділ 2. Основи природокористування та безпека життєдіяльності

Для рассчитываемого количества животных получены следующие габаритные размеры метантенка:

Общий объём метантенка, $V$ , м <sup>3</sup>	244,79
Общий объём сбраживаемой массы, $V_{\Sigma}$ , м <sup>3</sup>	228,78
Диаметр метантенка, $D$ , мм	6575,4
Высота цилиндрической части метантенка, $H_{\text{цил.}}$ , мм	7047
Глубина овального днища, $h_{\text{д}}$ , мм	1052,1
Диаметр мешалки, $d_{\text{м}}$ , мм	1878,7
Диаметр змеевика, $D_{\text{зм}}$ , мм	4696,7
Расстояние от днища до мешалки, $h_{\text{м}}$ , мм	1315,1

Результаты расчета объема и качества биогаза приведены ниже

Общий выход биогаза, м <sup>3</sup> /год	211863
Выход товарного биогаза, м <sup>3</sup> /сут.	363,19
м <sup>3</sup> /год	127118
Содержание метана, % <sub>об.</sub>	- 65,01
Низшая теплота сгорания, МДж/м <sup>3</sup>	21,97
Биогаз заменит:	94,04
условное топливо, т у. т.	
уголь, т/год	139,65
природный газ, м <sup>3</sup> /год	79801

Из приведенных данных следует, что ожидаемый выход биогаза при работе установки 350 суток в году в среднем составит  $1,27 \cdot 10^5$  м<sup>3</sup> при низшей теплоте сгорания около 22 МДж/м<sup>3</sup>. Содержание метана в биогазе 65%<sub>об.</sub>

Полученное топливо рекомендуется использовать непосредственно на ферме, обеспечив тем самым потребность в тепловой энергии — поддержание температурного режима сбраживания, технологические и бытовые нужды. При этом использование полученного биогаза может заменить около 80 тыс. м<sup>3</sup> природного газа в год, что эквивалентно 94 т у. т. При стоимости природного газа 906,5 грн. (178,5 \$) за 1000 м<sup>3</sup> это позволит сэкономить 72,5 тыс. Однако часть сэкономленных денежных средств потребуется затратить на организацию технологического процесса получения биогаза и эксплуатацию установки (подача биомассы, отвод сброженной массы, перемешивание биомассы в метантенке, циркуляция теплоносителя).

Используя данную установку и разработав технологическую схему, можно организовать получение альтернативного источника энергии — биогаза, на фермерском хозяйстве, используя его отходы. Отработавшую в метантенке биомассу целесообразно затем использовать в качестве обеззараженного высокоэффективного удобрения без специальной выдержки. Установлено, что использование такого удобрения повышает урожайность в сравнении с выдержанным на полигонах гноем на 10—20 % в зависимости от выращиваемой культуры [5].

### **Выводы и перспективы дальнейшего использования**

Предложены конструкция метантенка для сбраживания отходов сельскохозяйственного производства, методики расчёта основных габаритных размеров и технологических характеристик работы метантенка; полученные данные целесообразно использовать при разработке проектов метантенков для индивидуальных или групповых фермерских хозяйств.

\* \* \*

1. *Ковтун Г.* От метана к гелию // Регионал. — 2007. — №3(3). — 2007 — С. 50—59.
2. *Дубровский В.С., Виесту У.Э.* Метановое сбраживание сельскохозяйственных отходов. — Рига: Зинатна. — 1988. — 204 с.
3. *Матвеев Ю., Гелетуха Г.* Биогазова станція. Український досвід // Зелена енергетика. — 2004. — №1(13). — С. 4—5.
4. *Швец Я., Щербина О.* Тепло у вашому домі. — Львів: ЕКОінформ, 2003. — 174 с.
5. *Олексюк А.О., Сербін В.А., Радько Н.Ф.* Енергозбереження при використанні нетрадиційних джерел. — Донецьк: ДНЖКГ Держжитлокомунгоспу. — 2004. — 156 с.
6. *Васильцов Э.А., Ушаков В.Г.* Аппараты для перемешивания жидких сред. Справочное пособие. — Л.: Машиностроение. — 1979. — 272 с.

*Отримано 28.08.2008 р.*

УДК 551.510

## **ПОГОДА І ЕКОНОМІКА**

Луцько В. С., канд. екон. наук

*Автор детально аналізує вплив і внесок клімату у формування обсягів продукції народного господарства. Визначено роль мережі гідрометеорологічних спостережень в Україні за екологічними прогнозуваннями. Запропоновано Тимчасову метододу оцінки збитків метеорологічних і екологічних явищ та комплекс заходів щодо зменшення їхніх наслідків.*

*Автор подробно анализирует влияние и участие климата в формировании объемов продукции народного хозяйства. Определена роль сети гидрометеорологических наблюдений в Украине по экологическим прогнозам. Предложено временную методику оценки убытков метеорологических и экологических явлений и комплекс мер по уменьшению их последствий.*

*An author analyses in detail an influence and contribution of the climate to the scope of manufacturing of the national economy products. A role of the Ukrainian hydrometeorological observation network with regard to the ecological forecasting is defined. The temporary method for evaluation of damages from meteorological and ecological phenomena as well as the complex of measures for mitigation of their consequences are proposed.*

Вплив погоди на господарську діяльність людини визнається всіма. Залежність людства від стихій небесних і земних, збитки, які ми несемо від небезпечних явищ в атмосфері, в морях і океанах, з часом зростають, а не зменшуються. На перший погляд, цей факт може показатися парадоксальним, оскільки науково-технічний прогрес повинен сприяти незалежності нашого благополуччя від погоди.

Разом з тим, Генеральний секретар ООН Кофі Аннан відмічає: «Уявіть собі світ, замордований постійними посухами, бурями і голодом; світ, де острови, дельти річок і прибережні райони залиті

водами океану, рівень якого піднявся; світ, де через забруднення води і повітря вмирають мільйони людей, ще мільйони рятуються втечею в пошуках безпечнішого місця для життя, а решта бореться між собою за убогі природні ресурси.

Потім уявіть світ, де є чиста вода й повітря; де застосовуються екологічні технології, а в будинках, на транспорті і в промисловості використовуються енергозберігаючі технології; світ, у якому всі мають доступ до благ розвитку та індустріалізації й до природних ресурсів Землі, і де ці блага і ресурси можуть бути збережені для передачі майбутнім поколінням. Вибір між цими перспективами майбутнього за нами» [9].

Ми поки що вибрали перший варіант. Все більше і більше людей страждають від стихійного лиха. Протягом десятирічного періоду 1991—2000 рр. більше як 90% людей з тих, що стали жертвами природних небезпечних явищ, загинули в результаті суворих метеорологічних і гідрологічних явищ (див. Інформацію про стихійні лиха, що рознесені за видами явищ за період 1991—2000 рр. (Університет Лувена, Бельгія, 2001г.) [24; 27].

Вплив стихійних гідрометеорологічних лих на соціально-економічний розвиток зростає. Протягом цього періоду, та і подальшому, кількість метеорологічних і гідрологічних стихійних лих постійно зростала і в Україні. Вперше в своїй історії Україна увійшла до числа світових лідерів за кількістю жертв стихійних лих. Згідно з рейтингом міжнародного дослідження катастроф (CRED), на восьме місце в списку лідерів нашу країну привела зима 2006 року, коли із-за катастрофічних морозів, що були на сході країни, за даними МОЗ, загинув 801 чоловік. Всього у світі в 2006 році було зафіксовано 395 стихійних лих, жертвами яких стали 21342 чоловіка [17].

Підтвердженням цих слів є публікація в тижневику «2000», в якому говориться, про те, що «в перебіг попереднього десятиліття вчені відмітили декілька незвичайних за метеорологічними умовами років. Але ці метеорологічні крайнощі ніколи ще не були так виражені, як у 2007-му».

Загальну думку експертів із цього приводу виражає дослідник Міхаель Маккракен з Кліматичного інституту у Вашингтоні: «До цього необхідно звикнути. У нас є тенденція зростання частоти незвичайних років. Скоро незвичайні роки стануть нормою» [21].

## *Розділ 2. Основи природокористування та безпека життєдіяльності*

Слід відмітити, що природа весь минулий рік нагадувала нам про те, що поставлено на карту. Проте політичні лідери не використовують науково інтерпретовану метеорологічну та кліматичну інформацію адекватним чином, в основному через глибоку безодню, яка продовжує існувати між науковим суспільством, політиками й широкою громадськістю.

### **Інформація про стихійні лиха, що рознесені за видами явищ за період 1991—2000 рр. (Університет Лувена, Бельгія, 2001 г.)**

	Загальна кількість зареєстрованих стихійних лих	Загальна кількість чоловік, які загинули внаслідок стихійних лих	Загальна кількість чоловік, які постраждали внаслідок стихійних лих	Загальна сума оцінки збитків (умлрд дол. США)	Питома вага видів стихійних лих
Лавини/Селі	173	9550	2150	1.7	6.7
Засухи/Голод	223	280007	381602	30.5	8.7
Землетруси	221	59249	17023	239.6	8.6
Екстремальні температури	112	9124	6065	16.7	4.4
Повені	888	97747	1442521	272.8	34.6
Лісові пожежі	123	626	3422	26.3	4.8
Виверження вулканів	54	942	2157	0.8	2.1
Штормові вітри	748	205635	252401	198.1	29.1
Інші стихійні лиха	25	2718	60	0.3	1.0
Всього	2567	665598	2107401	786.8	100.0

Політики, як правило, є фахівцями у питанні завоювання голосів виборців або створення альянсів, а не в розумінні глобальних процесів, що відбуваються у кліматі, енергетиці, захворюваннях і виробництві продовольства, які впливають на всіх жителів нашої планети. Навіть різні групи вчених, які працюють у сфері охорони здоров'я, кліматології, сейсмології та інших спеціально-

стей — не налагоджують один з одним адекватної взаємодії, незважаючи на те, що сьогоденні загрози часто проходять через різні наукові дисципліни [25].

Ці провалля, що пролягають між політиками і вченими, а також між самими вченими, мають бути закриті, якщо ми хочемо впоратися із загрозами, які постають перед нами.

Як приклад, ніхто із наших учених до останнього часу не вважав клімат природним ресурсом, подібно до мінералів, землі і води. Все це походить від того, що погода, на відміну від інших ресурсів, постійно змінюється, а ці зміни носять майже випадковий характер.

Однак, в останній час, окремі провідні вчені України серед природних ресурсів уже виділяють кліматичні ресурси. Так, поняття кліматичних ресурсів викладене в монографії «Клімат України», а саме: «кліматичні ресурси являють собою сукупність сонячної радіації, тепла, вологи та метеорологічних величин і зумовлюють функціонування, розвиток, продуктивність різних галузей економіки та діяльності людини. У різних природних зонах, залежно від динаміки погодних процесів, вони мають свій потенціал використання» [18].

В той же час, у монографії «Україна. Еколого-географічний атлас. Атлас-монографія», що опублікувала Рада по вивченню продуктивних сил України НАН України серед складових природних ресурсів кліматичні ресурси не виділяються, а подані окремо, як «біокліматичні умови» чи «клімато-погодні умови» [10]. Таким чином, назріла необхідність впровадити на науковому рівні однозначне трактування поняття «кліматичні ресурси».

Окрім цього, потреби метеорології полягають у необхідності відобразити певні уявлення про частку клімату в об'єктах промисловості та сільськогосподарського виробництва. Економіці країни необхідні уявлення щодо визначення обсягів і географічних закономірностей розподілу, насамперед, кліматичних ресурсів, вже потім і певних сировинних ресурсів, питомої ваги погоди в продуктивності галузей, співвідношення між корисними і небезпечними його властивостями тощо. Разом узагальнені найвагоміші набутки кожного із згаданих і інші аспекти дають підстави визначити важливість подібних уявлень і для національної безпеки як для оцінки їхнього внеску в загальну продуктивність відповідних

## *Розділ 2. Основи природокористування та безпека життєдіяльності*

---

галузей, так і для співвідношення зі збитками від стихійних гідрометеорологічних явищ за тривалий період [15].

Питання про внесок клімату у формування обсягів продукції різних галузей є надзвичайно актуальним, оскільки вплив кліматичних умов на різні галузі народного господарства значно різняться. Особливості впливу погоди на діяльність окремих галузей розглянемо нижче.

Так, поточні умови погоди і її багаторічний режим здійснюють суттєвий вплив на сільське господарство. Формування урожаю і його збір значним чином залежать від метеорологічних чинників. У багатьох країнах коливання урожаю під впливом погоди досягають і навіть перевищують

А деякі вчені говорять про те, що динамічність і нестабільність елементів погоди при незмінних агротехнічних прийомах обумовлюють коливання урожаю по роках — від 20 до 80% [30].

Інші стверджують, що при слабкій засусі врожайність падає на 20%, при сильній — на 20—40%, а при дуже сильних засухах, які рідкісні, але широкі за площами, урожаї нижчі за звичайну норму більш ніж на 50% [28].

Так чи інакше, а значна частина втрат у сільському господарстві належить до потенційно непередбачуваних. В Україні в 2002—2003 роках непередбачуваних. В Україні в 2002—2003 внаслідок тривалих морозів, подальшої засухи і масового нападу сарани загинуло біля 50% урожаю озимини [29]. Прямі і непрямі втрати в агропромисловому комплексі в 2003 році становили за експертними оцінками, понад 5 млрд гривень.

Загибель озимих культур унаслідок несприятливих метеорологічних умов взимку 2005—2006 років (в основному підмерзання озимини) МНС оцінив на рівні 27%. У окремих областях площі загиблої озимини досягали 35—45%. В цілому по країні Мінагрополітики вважає, що необхідно було пересіяти 12% озимини [13].

Висока температура при тривалій низькій відносній вологості повітря і суховійних явищах призвели у 2007 році до посухи в центральних і південних регіонах держави на площі майже 10 млн га, в результаті чого загинули озимі та ярові культури на площі біля 1,1 млн гектарів [6; 31].

Втрати урожаю внаслідок посух, перезволоження, граду, заморозків і інших явищ можуть бути істотно знижені за наявності



прогнозів погоди і правильному обліку шляхом зміни режимів зрошування, виборів оптимального часу посіву, заходів по догляду, своєчасної обробки пестицидами і тому подібне.

Проте, у всіх випадках великомасштабних проявів стихійних чи небезпечних гідрометеорологічних явищ підприємствам сільського господарства виділялися кошти із державного бюджету. Так, наприклад Мінагрополітики розподілило у 2007 році 120 млн грн, які було виділено на компенсацію збитків від засухи між 3353 підприємствами [19].

Тобто, якщо і трапляється небезпечне метеорологічне явище в агропромисловому комплексі, то відшкодування збитків повинні здійснювати самі підприємства чи страхові компанії, а не держава. Специфіка ведення сільського господарства полягає в тому, що часто має місце акумуляція ризику, тому в разі настання страхового випадку збитків зазнають не тільки окремі підприємства, а й цілі території. Сучасний стан ринку страхових послуг в Україні поки що не дає змогу ефективно виконувати функції зменшення ризиків у сільському господарстві: кількість компаній, які надають страхові послуги сільськогосподарським виробникам, незначна, інформація про умови та порядок страхування неповна і важкодоступна, перелік ризиків, від яких страхують наявні на ринку страхові компанії, часто не містять саме тих ризиків, які найбільше турбують сільських виробників [20]. Через це не особливо допоможуть вимоги чергового Указу Президента України щодо заходів стосовно ринку зерна в частині страхування [1].

Вироблення, споживання і витрати промислової енергії певним чином регулюються кліматичними умовами. До них належать приток і розподіл сонячної енергії, тривалість освітлення, температурний режим, кількість опадів, вітровий режим тощо. Кожна з названих метеорологічних величин здійснює своєрідний вплив на процеси енергопостачання за особливостями добового ходу, сезонних характеристик, щорічної мінливості. Згідно з дослідженнями УкрНДГМІ, зіставленнями особливостей промислового енергопостачання з впливом на нього температурного режиму дозволило заздалегідь визначити внесок останнього в енергетику України. Так, внесок річної температури повітря у середні обсяги виробленої і спожитої енергії є незначним. Він становить 1,4—2,6%. У той же час витрати енергії в мережах загального користування за

## *Розділ 2. Основи природокористування та безпека життєдіяльності*

---

рахунок коливань температурного режиму досягають біля 35% загальних витрат, що слід визнати як істотний вплив [16].

Щодо транспортної галузі, то її діяльність залежить від погоди і клімату, які впливають на такі її властивості, як ефективність, регулярність, безпека. Загальновідомо, що кліматичні зміни, згідно з дослідженнями УкрНДГМІ, завірюх, стихійних паводків і повеней, через перезволоженість шляхів без твердого покриття. Так, температурний режим, кількість опадів впливають на вантажний оборот і пасажиропотік. Крім того збільшення впливають опосередковано на функціонування транспортної системи України через збільшення частоти і інтенсивності небезпечних стихійних явищ: сильних вітрів, шквалів, смерчів, гроз, туманів, ожеледі, сильних снігопадів і кількості опадів у зонах надмірного зволоження призводить до підтоплення транспортних шляхів і споруд, енергетичних і інформаційних комунікацій.

Опосередкований вплив погоди на транспортну систему України змінюється від сезону до сезону. Важливим кліматичним показником є дати стійкого переходу температури повітря через критичні значення. Стійкий перехід через 0° восени приводить до ожеледі. Стійкий і ранній перехід через 0° навесні сприяє інтенсифікації транспортних процесів [16].

Вплив погоди на транспортну галузь можна ілюструвати наступним прикладом. Так, 11—12 листопада 2007 року у Керченській протоці зазнали аварії п'ять російських суден. Сила вітру в протоці перевищувала 30 м/с, у а місцями — до 40 м/с, висота хвиль сягала чотирьох-п'яти метрів. У південній частині Керченської протоки скупчилося біля сотні суден. Служби Керченського порту двічі розсилали штормове попередження, однак у море відійшли не всі — понад 50 суден залишилися в протоці, внаслідок чого деякі затонули, а деякі сіли на мілину. Танкер «Волганефть-139» розколовся і у воду потрапило, за офіційними даними, 1200 т мазуту, в результаті чого виникла екологічна катастрофа. Збитки до цього часу не пораховані [26].

Відповідно до Звіту по пілотному дослідженню Міжнародного банку реконструкції та розвитку, який вивчав питання, що пов'язані з діяльністю гідрометеорологічної служби в Україні систематичний і повний облік економічних втрат, які несуть економіка і населення країни від всього спектру небезпечних гідрометеороло-

гічних явищ і несприятливих умов погоди, в Україні не ведеться. Відсутні галузеві методики розрахунку і збору такої інформації. Відсутні також і надійні непрямі відомості (оцінки), які могли б послужити основною базою для їх використання при розрахунку середньорічних економічних збитків як для економіки в цілому, так і її окремих галузей [15]. Згідно з наданими МНС до зазначеного Звіту даними, середньорічні загальні економічні втрати (прямі і непрямі) від природних надзвичайних ситуацій тільки державного і регіонального рівня по країні за 2000—2005 роки були оцінені в обсязі майже 340 млн дол. США (у цінах 2005 року). За орієнтовними оцінками Укргідромета, з урахуванням думки Мінагрополітики, прямі і непрямі втрати галузей економіки за період 2000—2005 років перевищує дані МНС не менше ніж в 3—4 рази, тобто становить біля 900 млн дол. США (у цінах 2005 року) [15].

Дійсно у державі відсутня офіційна статистика стихійних та небезпечних гідрометеорологічних явищ і збитку, який вони наносять національній економіці. Це при наявності ряду урядових та відомчих документів у цій сфері [5; 8; 7]. Зазначене пов'язане з особливістю гідрометеорологічних умов, коли нерідко їх негативні прояви можливо оцінити тільки через певний проміжок часу, наприклад збиток від заморозків посухи. Тому оперативні дані, через відсутність офіційної статистики про кількість стихійних та небезпечних гідрометеорологічних явищ, не завжди можуть бути показовими при визначенні збитку і негативного впливу гідрометеорологічних умов на діяльність господарського комплексу.

Щодо визначення величини збитку від стихійних та небезпечних гідрометеорологічних явищ, то поряд з іншими надзвичайними ситуаціями, можна було б скористатися Тимчасовою методикою оцінки збитку від наслідків надзвичайних ситуацій природного і техногенного характеру. У той же час, цей документ достатньо складний для використання на практиці, особливо в частині проведення розрахунків і тому господарюючі суб'єкти, а також центральні, регіональні і місцеві органи виконавчої влади його рідко застосовують [4].

Окрім цього, необхідно забезпечити розуміння і реєстрацію найчастіше виникаючих метеорологічних і кліматичних небезпечних явищ і провести картографування ступеня уразливості населення або географічних зон дій цих явищ. Будь-яке поліпшення

## *Розділ 2. Основи природокористування та безпека життєдіяльності*

---

часу попередження і аналізу ризику в районі, якого торкнулося лихо, дає змогу підвищити ступінь його захищеності. Необхідною основою для обслуговування, направлено на зменшення уразливості, є національна науково-технічна інфраструктура. Така інфраструктура забезпечує можливості для проведення систематичних спостережень за кліматом, ведення архівів кліматичних даних, моніторингу найзначніших аномалій клімату і забезпечення ранніх попереджень метеорологічних кліматичних явищ особливо про екстремальні явища, які несуть загрозу життю і майну людей [24].

Для вирішення таких завдань дуже важливим є належне функціонування гідрометеорологічної мережі. Створення мережі спостережень за доквіллям було розпочато в Україні ще у першій половині XIX століття. Час, що минув, дозволив створити відносно сучасну гідрометеорологічну мережу і зараз протягом року на базі інформації з мережі складається та надається споживачам більше ніж 300 тисяч авіаметеорологічних, біля 40 тисяч метеорологічних, 10 тисяч гідрологічних, одна тисяча агрометеорологічних прогнозів, до 800 попереджень тощо [12].

Середня справджуваність у 2005 році метеорологічних прогнозів загального користування на 1—3 доби становила 91%, агрометеорологічних — 94%, гідрологічних — 87% (у 2004 році середня справджуваність у/короткострокових прогнозів наближалась до 90%). Довгострокове (сезонне, місячне) прогнозування погодних умов має дуже велику невизначеності.

Перешкоджає якісному виконанню спостережень зношеність та технічна відсталість різного роду приладів та обладнання, а також те, що діючі інструкції і настанови є застарілими. Темпи технічного переоснащення системи державної гідрометеорологічної служби залишаються, незадовільними, оскільки переважаюча кількість приладів вже відпрацювала свій ресурс. Необхідно встановити автоматизовані гідрометеорологічні станції і пости, метеорологічні локатори, замінити технічне і технологічне оснащення служби [22; 23].

Така ситуація склалася в результаті невиконання в повному обсязі положень Кліматичної програми, затвердженої Урядом у червні 1997 року і розрахованої на 1998—2002 роки та «Державної програми науково-технічного переоснащення системи гідрометеорологічних спостережень за забрудненням навколишнього природного середовища», що була прийнята в січні 1994 року [3; 2].

Таким чином, узагальнюючи наведений матеріал, можна прий-ти до таких висновків та пропозицій:

1. Мережа гідрометеорологічних спостережень в Україні є складною багатопрофільною і багатофункціональною системою, що зараз перебуває у непростому стані. Водночас мережа продовжує виконувати покладені на неї функції забезпечувати країну гідрометеорологічними прогнозами. Разом з тим, функціонування мережі з кожним роком ускладнюється і наближається до критичної мережі. Втрата дієздатності мережі загрожує колосальними збитками, що має бути усвідомлена керівництвом держави.

2. Отримані вітчизняними вченими та експертами Світового банку результати свідчать про мінливість метеорологічних явищ. За останні роки ХХ ст. і початку ХХІ ст. відстежується тенденція до збільшення частоти метеорологічних явищ на території країни, яка пов'язана з глобальними змінами клімату.

3. За змістом отриманих результатів формуються переконливі висновки про залежність від погодних умов розміщення кожної галузі, її структури, як соціально-економічної екосистеми, особливостей виробничої і технологічної діяльності, обсягів, якості отриманої продукції, погодних обумовлених збитків від стихійних та небезпечних гідрометеорологічних явищ.

4. Для досягнення максимального ефекту від використання сприятливих погодних і кліматичних умов, запобігання або зменшення збитку чи його мінімізації необхідне об'єднання волі і можливостей підприємців і органів виконавчої влади з технічними знаннями гідрометеорологів, екологів і економістів. Для цього необхідно активізувати роботу у сфері розробки і вдосконалення галузевих методик розрахунку економічного ефекту (економічній ефективності, використання гідрометеорологічної інформації і прогнозів, а також у напрямі систематизації збору відомостей про економічні збитки як від окремих гідрометеорологічних явищ для економіки в цілому, так і за галузевою ознакою, тобто шляхом узагальнення збитків у конкретній галузі від всіх видів небезпечних гідрометеорологічних явищ і несприятливих умов погоди.

5. В галузі страхування сільськогосподарських ризиків, та й не тільки в цій галузі, урядовим інституціям було б доцільно: забезпечити усунення дефіциту ринкових інструментів у агропромисловому комплексі; впровадити заходи стимулювання сільськогос-

подарських виробників до участі у страхуванні; розробити комплекс заходів щодо підвищення страхової культури громадян і підприємств; зважаючи на низькі обсяги і недосконалість структури активів чи капіталу страхових компаній розробити проект Закону України «Про фонд гарантування страхових виплат».

6. Як основний пріоритет у гідрометеорологічній сфері, необхідно в стислі терміни завершити розробку Державної науково-технічної програми технічного і технологічного розвитку гідрометеорологічної служби і приступити до її реалізації. При цьому вона повинна передбачати, серед іншого: належний характер збору метеорологічної і спорідненої інформації і постійного управління нею для забезпечення підтримки проведенню досліджень чутливості і уразливості суспільства; проведення міждисциплінарних досліджень для визначення національного ризику і уразливості на рівні суспільства; розробку належних національних видів політики планування і стратегій реагування, що враховують необхідність зменшення уразливості; своєчасність надання установам, що ухвалюють рішення, обслуговування у вигляді метеорологічної і спорідненої інформації і ранніх попереджень; розробку і уніфікацію понятійного апарату в сфері небезпечних метеорологічних явищ, а також в кліматології тощо.

\* \* \*

1. *Указ Президента України «Про деякі заходи щодо розвитку ринку зерна»* від 18 вересня 2007 року № 890.

2. *Постанова Кабінету Міністрів України* від 29 травня 1996р. № 579 «Про Державну програму науково-технічного переоснащення системи гідрометеорологічних спостережень за забрудненням навколишнього природного середовища».

3. *Постанова Кабінету Міністрів України* від 28 червня 1997 р. № 650 «Про Кліматичну програму України».

4. *Постанова Кабінету Міністрів України* від 15 лютого 2002 р. «Про затвердження Тимчасової методики оцінки збитків від наслідків надзвичайних ситуацій природного і техногенного характеру».

5. *Постанова Кабінету Міністрів України* від 24 березня 2004 р. № 368 «Про затвердження Порядку класифікації надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру за їх рівнями».

6. *Постанова* Кабінету Міністрів України від 4 червня 2007 р. № 794 «Про невідкладні заходи щодо зменшення негативного впливу посухи та забезпечення формування ресурсів зерна врожаю 2007 року».

7. *Настанова* по службі прогнозів та попереджень про небезпечні і стихійні явища погоди (Наказ Держкомгідромету від 31 жовтня 2003 р. № 90) — К.: Державна гідрометеорологічна служба, 2003. — 28 с.

8. *Державний класифікатор* надзвичайних ситуацій; ДК 019-2001. — К.: Держстандарт України, 2002. — 16 с.

9. *Аннан Кофі*. Шанс забезпечити наше майбутнє // «Урядовий кур'єр» від 5 червня 2002 р.

10. *Барановський В.А. та ін.* Україна. Еколого-географічний атлас. Атлас-монографія. — ЧК.: Варта, 2006. — 220 с.

11. *Васильев А.А.* Прогноз погоды: состояние и перспективы. // Человек и стихия. Научно-популярный гидрометеорологический сборник на 1988 год. — Л.: Гидрометеиздат, 1987. — С. 2—5.

12. *Вишневський В.І., Токар Н.Ф.* Мережа спостережень — основа функціонування галузі // Наукові праці УкрНДГМІ: Випуск 246. Гідрометеорологічні дослідження в Україні. — К.: УкрНДГМІ, 1998. — С. 5—20.

13. *Дмитренко А.* ЗаХЛЕБнемся // «Агросвіт», 2006. — № 6. — С. 15—17.

14. *Дмитренко В.П.* Плідність клімату, родючість ґрунтів і врожай // Наукові праці УкрНДГМЦ: Випуск 254. — Погода і врожай, 2005. — С. 94—112.

15. *Звіт* по пілотному дослідженню «Оцінка економічної ефективності Програми технічного і технологічного розвитку гідрометеорологічної служби України». — К.: МБРР. 2007. — 46 с.

16. *Звіт* УкрНДГМІ про науково-дослідну роботу «Про вплив змін клімату на стан і розвиток окремих галузей економіки та розробка науково обґрунтованих рекомендацій щодо стратегії реагування на зміни клімату господарського комплексу: сільськогосподарського виробництва, транспорту, енергетики» за договором № 70/040202/11-1 від 15 січня 2001 р.

17. *Ихельзон Е.* Украина признана страной катастроф // «Сегодня» от 30 січня 2007 р.

18. *Клімат України* / За ред. В. М. Ліпінського та ін. — К.: Вид-во Раєвського, 2003. — 343 с.

20. Луцько В.С. та ін. Стан та проблеми обов'язкового страхування посівів зернових культур // «Економіка АПК». — № 2. — 2004. — С. 37.

19. «Контракти» від 30 вересня 2007 року. — № 31.

21. Матвеев В. Необычные годы станут нормой // «2000» від 28 грудня 2007 р.

22. *Національна доповідь* про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2004 році. — К.: Чорнобильінтерінформ, 2005.

23. *Національна доповідь* про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2005 році. — К.: Чорнобильінтерінформ, 2006.

24. *Повышение защищенности* от экстремальных метеорологических и климатических явлений. ВМО — № 93. — Женева, Швейцарія, 2002. — 36 с.

25. Сакс Д. Сам на сам з оскаженілою природою // «День» від 29 жовтня 2005 р.

26. Самар В. Хто на дні, хто в темі, а хто має зиск... // «Дзеркало тижня» від 17 листопада 2007 р. — № 44.

27. *Стихійні метеорологічні явища* на території України за останнє двадцятиріччя (1986—2005 рр.) / За ред. В.М. Липінського, В.І. Осадчого, В.М. Бабіченка. — К.: Ніка-Центр, 2006. — 312 с.

28. Угрюмов А.И. Стихия, наука и мы // «Человек и стихия» Научно-популярный гидрометеорологический сборник на 1990 год. — Л.: Гидрометеоиздат, 1990. — С. 2.

29. Хандоожко Л.А. Економічна метеорологія. Підручник. — СПб.: Гидрометиздат, 2005. — 490 с.

30. Шевченко О.А. Погода, клімат, прогноз і урожай // «Вісник аграрної науки», 1991. — № 9. — С. 48—152.

31. Янцова К. Урожайні перспективи // «Урядовий кур'єр» від 24 липня 2007 р.

*Отримано: 06.08.2008 р.*



УДК 654.924.5

## **ЭФФЕКТИВНОЕ, БЫСТРОЕ И БЕЗОПАСНОЕ ТУШЕНИЕ ПОЖАРОВ НА СКЛАДАХ БОЕПРИПАСОВ**

*В.Д. Захматов, д-р техн. наук, проф.,  
(Институт телекоммуникаций и глобального  
информационного пространства НАН Украины)*

*Описываются современные технологии локализации огня и машинное оборудование для пожарных частей. Используются новые импульсные высокообъемные огнеборные устройства, смонтированные на шасси танка Т-55 (либо модификациях Т-55), произведено экспериментальную партию устройств (свыше 30 единиц) и хорошо проверено пожарными частями в военно-полевых условиях и на реальных пожарах. Более 20 устройств работают на российских заводах и военных базах, 7 единиц работают в украинских пожарных командах, защищающих химические и нефте-газовые объекты.*

*Описані сучасні технології локалізації вогню та машинне обладнання для пожежних частин. Використані нові імпульсні високооб'ємні вогнеборні машини, змонтовані на шасі танку Т-55 (або його модифікації), виготовлено експериментальну партію машин (понад 30 одиниць) та досконало перевірено пожежними частинами у військово-польових умовах та на реальних пожежах. Понад 20 машин працюють на російських заводах та військових базах, 7 машин працюють в українських пожежних командах, які захищають хімічні та нафто-газові об'єкти.*

*The modern technologies for fire localization and machinery of ammunition storages describes here. Using new pulse fire-fighting multibarrels units, mounted on the T-55 (or T-55 series) tank-chassies, where produced pilot party (over 30 units) and well tested at the military field-ranges and on the real fires by ammunition storages. Over 20 units work at russian military plants and depots, 7 units work at ukrainian fire-brigades protecting chemical and oil-gas objects as well.*

Одной из наиболее сложных, до сих пор эффективно нерешенных задач для Министерства Обороны Украины является достаточно быстрое, своевременное тушение пожаров на складах

© В.Д. Захматов, 2008

боеприпасов, способное предотвратить взрывы боеприпасов, начинающиеся с 10 минуты от начала пожара.

В настоящее время пожарные не могут тушить горящие штабеля боеприпасов, которые полностью выгорают, а снаряды взрываются, как это было в Лозовой, Новобогдановке и в целом ряде других украинских арсеналов, баз, складов (1.2).

Фактически, пожарные лишь наблюдают за полным выгоранием штабелей с боеприпасами и при этом пытаются лишь локализовать пожар, т. е. не дать ему перекинуться (распространиться) на соседние штабеля. Но когда в горящем штабеле начинают рваться боеприпасы, то даже это пассивное «тушение» немедленно прекращается, и пожарные быстро эвакуируются за несколько километров от взрывающихся штабелей. Это еще идеальный вариант, когда делают хотя бы попытки потушить пожар. Как правило, пожарные не знают, когда начался пожар, они лишь фиксируют его с некоей стадии его развития. Экспериментальные полигонные, натурные исследования, проведенные в 80 годах в СССР, позволили установить, что взрывы боеприпасов начинаются через 8—12 минут (не ранее 8, но не позднее 12 минут) от начала горения. Так как пожарные не знают точно, когда начнут взрываться боеприпасы в горящем штабеле, то они в большинстве случаев не рискуют приближаться к нему и имеют на это все основания, так как не обладают техникой, способной обеспечить безопасное и эффективное тушение горящего штабеля с боеприпасами (1, 2, 3).

Как показывает анализ развития пожара штабелей боеприпасов на 61-м арсенале под Лозовой, современные меры их предупреждения неэффективны. Глубокие обваловки вокруг хранилищ, системы громоотводов, круглосуточное видео наблюдение не спасают от распространения лесного и степного пожара на территорию базы, арсенала, особенно при сильном ветре, а также не могут спасти от квалифицированно проведенного диверсионного или террористического поджога. При этом не помогает и разкомплектация боеприпасов — хранение боевых частей отдельно от взрывателей — так как заряды взрывчатого вещества в боевых головках или пороха в гильзах взрываются от нагрева, а не от срабатывания взрывателей или капсулей воспламенителей.

Для тушения пожара привезли 5 «пожарных танков» — гусеничных пожарных машин ГПМ-54, состоящих из разбронирован-

ного танкового шасси, фактически лишеного эффективных средств защиты экипажа и моторного отделения, цистерны с 9 тоннами воды и маломощного лафетного ствола с дальностью действия до 10—15 метров. В среду на тушение послали один «танк», но он быстро вышел из строя (вероятно, из-за перегрева двигателя под воздействием тепловых излучений и работы в атмосфере, обедненной кислородом и сильно загрязненной. Это типичные причины выхода этих «пожарных танков» из строя). В четверг (28 августа) этих ГПМ-54 было уже 4, но они не могли работать, потому что температура в районе пожара была для них слишком высокой. Для чего они тогда вообще нужны (5). (см. «Газета по Киевски» № 196 (1294) от 29.08.2008 г.) Эти недостатки ГПМ-54 были отмечены в ряде приказов по ГРАУ МО СССР в 1983 г. На их основании были приняты резолюции о необходимости создания новых бронированных пожарных машин. Работа на ГПМ-54 по тушению реальных горящих штабелей боеприпасов очень опасна. Например, в 1982 г. На крупнейшем арсенале ГРАУ в Йошкар-Оле сгорело две ГПМ-54 с экипажами. Первая машина с опытным водителем прапорщиком и оператором лафетного ствола — начальником объектовой пожарной части тушила горящий штабель с наиболее эффективной дистанции 10 м. При работе насоса машина не может двигаться. Когда запас воды иссяк, то вследствие сильного задымления двигателя машины заглох и его не смогли запустить. Огонь от штабеля охватил машину. Вторая машина во главе с заместителем начальника части поехала выручать первую, сбита с нее пламя, но у нее также заглох двигатель, и обе машины были охвачены сильной вспышкой выбросом пламени и сгорели с экипажами.

Анализ этого происшествия и ряда предшествовавших ему менее трагических, но также сопровождавшихся гибелью и тяжелыми ожогами членов экипажей ГПМ-54 позволил выявить основные недостатки этих машин:

- 1) отсутствие брони — надежной защиты от попадания снарядов, крупных осколков, обрушений штабелей, строений, зданий и пр.
- 2) малый радиус эффективного тушения до 15—20 м при компактной водяной струе, а при тонкораспыленной струе воды до 5—7 м. Малая интенсивность подачи воды до 40 л/с, большие удельные расходы при струйном продолжительном тушении, от

## *Розділ 2. Основи природокористування та безпека життєдіяльності*

---

100 до 1000 л на 1 кв. м горящей поверхности. Это предполагает необходимость длительной работы в очень опасной труднодоступной зоне — в непосредственной близости от пожара или очага возможного взрыва. Эта зона интенсивного разрушительного действия взрывных волн, высокоскоростных осколков, высокой вероятности прямого попадания боеприпасов, тепловых излучений и конвекционных потоков, малого содержания кислорода недостаточного для стабильной работы танкового двигателя, особенно на высокой мощности, когда машине надо быстро «выскочить» из опасной зоны;

3) отсутствие систем очистки внешнего воздуха от токсичных газов, аэрозолей, дыма, отсутствие теплозащитных экранов и систем охлаждения путем орошения внешней поверхности корпуса тонкораспыленной водой;

4) при работе насоса в труднодоступной зоне маршевый двигатель или трансмиссия не включен, и пожарный танк не имеет возможности быстро выехать — рывком «выскочить» из опасной зоны;

5) малый возимый запас воды, которого не хватает на полное тушение горящего штабеля боеприпасов даже после 3—5 минут свободного горения;

б) плохая управляемость процессом тушения вследствие малой интенсивности струи, малой площади ее фронта, отсутствия систем видео контроля струи воды с места оператора в обитаемом отделении танка.

Машина ГПМ–54 удачно модифицирована в Чехословакии на танкоремонтном заводе, ей присвоено наименование «SPOT-55» Новая гусеничная пожарная машина на шасси танка Т-55 имеет ряд серьезных преимуществ по сравнению с ГПМ–54:

- Повышена емкость с цистерны с водой — до 12 тонн.
- Введено два лафетных ствола с повышенной интенсивностью подачи воды до 60 л/с из каждого ствола, предусмотрена замена насоса на новый образец с интенсивностью подачи воды до 90 л/с из каждого ствола.
- Рядом с лафетными стволами размещена телекамера, а в обитаемом отделении — экран и система дистанционного управления стволами,
  - Частично сохранена броня, защищающая обитаемое отделение.
  - Обеспечено гибкое управление степенью распыления воды,

- Цистерна с водой, лафетные стволы и видеокамера скомпонованы на башенном основании, вращающемся на 360°, что расширяет возможности тушения и обеспечивает эвакуацию машины из опасной зоны.

- Введена система орошения распыленной водой для светотеплозащиты корпуса машины.

Данные преимущества значительно расширяют тактико-технические возможности СПОТ по тушению различных пожаров гражданских и военных объектов. Однако этих преимуществ не достаточно для эффективного, безопасного тушения горящих штабелей боеприпасов и своевременного предотвращения перехода пожара укупорки во взрыв боеприпасов внутри нее.

Однотипны с этими пожарами пожары на объектах деревообрабатывающей промышленности, борьба с которыми является также весьма трудноразрешимой задачей и, как правило, пожарные не тушат горящие штабеля леса, пиломатериалов, а предотвращают от возгорания соседние штабеля. Как показывает практика, современные механические, пневматические, гидравлические установки подачи огнетушащих составов не обеспечивают оперативного тушения пожаров даже в начальной стадии их развития, вследствие большого времени (не менее десятков минут), требующегося на транспортировку и развертывание пожарной техники, а также на достижение режима эффективного тушения с момента начала работы техники и согласование совместной работы нескольких пожарных машин. Существующая техника пожаротушения не может эффективно бороться также с развитыми пожарами, вследствие малых величин параметров огнетушащих струй: мощность, скорость, дальность, площадь фронта, проникающая способность. Практически невозможно с помощью традиционных методов и технических средств пожаротушения локализовать и потушить пожар даже одиночного деревянного штабеля. Малая дальность тушения приводит к необходимости длительной работы в зоне поражающего воздействия взрыва и пламени пожара.

Наиболее перспективными для решения этой задачи нам представляются многоствольные установки импульсной подачи огнетушащих составов на базе шасси танков Т-54, Т-55, Т-62, двухосных прицепов, лафетов, джипов и грузовых автомобилей. Эти установки обеспечивают быстрое, мощное, многократное огнету-

шашее воздействие, гибко регулируемое по своим параметрам: площади фронта, интенсивности подачи огнетушащего состава.

Есть важная причина того, чтобы кроме пожарных танков на арсеналах необходимо применять колесные импульсные пожарные машины, которые заводятся и прибывают на место пожара значительно быстрее танков на минуты и даже на десятки минут. Гусеничная бронированная пожарная машина может не успеть предотвратить взрыв боеприпасов в штабеле, но зато она может эффективно работать в зоне поражающего воздействия взрывов. Решение по разработке импульсных многоствольных установок на шасси танков как принципиально качественно новой техники принято Главным ракетно-артиллерийским управлением МО СССР после ряда случаев гибели бронированных гусеничных пожарных машин ГПМ-54 при тушении реальных пожаров на базах боеприпасов.

Первая многоствольная пожарная установка на полозьях была испытана в 1982 г., и с тех пор продолжались все более интенсивные и объемные работы по совершенствованию многоствольных систем в плане повышения определяющих огнетушащую эффективность основных тактико-технических характеристик: масса метаемого состава, начальная скорость распыления, время перезарядки, безотказность, надежность работы, дальность, проникающая способность, площадь фронта распыленного огнетушащего состава. Установлены оптимальные калибр и длина ствола, разработана компоновка многоствольной системы, созданы элементы раздельно-гильзового заряжения: вышибной заряд и герметичная цилиндрическая емкость-гильза, обеспечивающая быстрое зарядание в ствол и долговременное гарантированное до 10—15 лет хранение любого огнетушащего состава порошка, геля, жидкости, с различными характеристиками: дисперсностью, удельным весом, плотностью, вязкостью, смачиваемостью, химической активностью. Это позволяет сосредотачивать во многих местах достаточные запасы огнетушащих боеприпасов во многих местах, а также монтировать заряженные многоствольные модули на многих опасных участках, легко и просто обеспечивать их многолетнее нахождение в режиме ожидания. Всегда и незамедлительно обеспечить комбинированное огнетушащее воздействие с помощью нескольких последовательных с регулируемыми интервалами залпов различных распыленных огнетушащих составов. Тонкодиспер-

сное, высококонцентрированное распыление этих составов мощными, скоростными газовыми потоками обеспечивает их высокоэффективное использование в зонах горения — над и внутри раскаленной поверхности горящего материала с комплексным воздействием, сочетающим одновременно разрушение, охлаждение всей структуры и объема зоны горения и подготовки горения. При этом обеспечивается проникновение в горящие конструкции со сложной конфигурацией поверхности. Значительные, приоритетные исследования в области механики и динамики импульсных многофазных потоков, а также внутренней и внешней баллистики взрывных многоствольных систем позволили установить ряд новых закономерностей процессов образования, распространения и огнетушащего воздействия импульсных газодисперсных струй и многоструйных потоков. На основе анализа этих новых закономерностей разработаны новые, уникальные методы гибкого и оперативного управления скоростью, кинетической энергией, дальностью, масштабами, кратностью и видом — механизмом воздействия огнетушащих потоков.

Кроме этого отработаны методы многоцелевого защитного воздействия путем управляемого, комбинированного распыления различных защитных составов из многоствольных установок. Таким образом, обеспечивается постановка светотеплозащитных завес заданных размеров, конфигураций и сред, предотвращающих воспламенения и взрывы газовых, паровых, пылевых сред. Отработаны методы создания мощных, направленных потоков, способных разрушить и локализовать выбросы активных веществ, а также локализовать активные пыли, аэрозоли на разных сложных поверхностях. Эти результаты по качественно новому, крупномасштабному, многоплановому защитному воздействию подтверждены актами многочисленных полигонных, межведомственных испытаний, в том числе и в присутствии представителей ряда иностранных фирм (3, 4).

Импульсные многоствольные установки других конструкций, например, пневматические или 120 мм пороховые, не обеспечивают быстрого и эффективного процесса пожаротушения. В июле 1985 г. в г. Йошкар-Ола, в июне 1987 г. в г. Балаклея проведены натурные испытания многоствольных установок, малокалиберных (120 мм), 10-ти ствольных установок, стволы которых сделаны из

стандартных минометных труб, с маломощными вышибными зарядами. Эти установки обеспечивали выброс порошка лишь до 15 м, создавало низкоскоростное, малоцентрированное газопорошковое облако, не способное оказать заметного огнетушащего воздействия на горящий полноразмерный штабель.

В Балаклее на базе арсенала боеприпасов испытания проводились в 1988 г. На первом этапе, май-июнь, тушилось 5 модельных штабелей тары — ящиков с боеприпасами размерами 12×6×3,5 м (12 м по фронту, 6 м в глубину и 3,5 м в высоту) с помощью традиционной пожарной техники на базе танка ГПМ-54, колесных пожарных машин (АПЦ-40), турбореактивной установки АГВТ. Эта традиционная техника не сумела потушить 4 горящих штабеля после 8 мин. свободного горения. Штабеля полностью сгорели за 20—25 мин, содержащиеся в них несколько гильз с пороховыми зарядами взорвались на 10—12 минутах от начала пожара штабеля и были потушены только тогда, когда ящики обрушились и превратились в груды горящих обломков. Также испытывались серийные импульсные установки других конструкций: одноствольная пневматическая (калибром 300 мм), содержащая до 200 кг огнетушащего порошка, и девятиствольная пороховая установка, калибром стволов 120 мм, содержащая по 15 кг порошка в стволе. Установки разработаны в ВИПТШ МВД СССР на кафедре д.т.н., проф. Абдурагимова И.М. и состоят на вооружении противотанковых частей Мингазпрома (2, 3). Установки сложны по конструкции, требуют не менее 20 мин. на перезарядку одного ствола и обеспечивают выброс огнетушащего порошка на дальность не более 15 м. При импульсном распылении порошка из этих установок создавался только низко скоростной, маломощный, газопорошковый поток, временно сбивающий пламя, но не обеспечивающий тушения горящих деревянных поверхностей, с развитым высокотемпературным, обугленным поверхностным слоем.

На втором этапе испытаний в августе 1988 г. на примере тушения трех штабелей размерами 15×6,5×3,5 м испытывались две крупнокалиберные (по 200 мм калибр ствола) импульсные установки, разработанные автором и смонтированные на шасси зенитных двухосных лафетов: 25-ти ствольная откатная и 30-ти ствольная безоткатная системы импульсного распыления. Испытывалась также стационарная гидравлическая установка, подающая струю



воды с расходом до 80 л/с, работающая от 2 пожарных машин с насосами АПЦ-40. Испытывалась также газотурбинная установка АГВТ, состоящая из турбореактивного двигателя со смонтированными на сопле 4 стволами подачи воды. Время свободного горения штабеля составляло 8 мин. Двадцатипятиствольная откатная импульсная установка за 15 сек сделала 3 залпа по 8 и 9 стволов с расстояния 25 м по штабелю. Пламя и дым были сбиты полностью с наружной поверхности штабеля. Газопорошковые высокоскоростные мощные потоки проникли внутрь штабеля по межящичным вертикальным и горизонтальным щелям, окружили штабель со всех сторон, как бы окутали его плотной огнетушащей газопорошковой средой. Во всем объеме штабеля и вокруг него на расстоянии 3—5 м была создана плотная газопорошковая среда «Колпак», с концентрацией, достаточной для тушения. Достаточно плотный «Колпак» существовал над штабелем в течение 5—6 мин. В течение этого отрезка времени был перекрыт доступ кислорода к горящим поверхностям, а огнетушащая газопорошковая среда проникла к горящим поверхностям по межящичным вертикальным и горизонтальным щелям — дымоходам, служившим путями подсоса кислорода и очагом пожара.

Для достижения наибольшего эффекта сочетания естественного и искусственного гидродинамического подсоса огнетушащего вихря в пространство под штабелем, являющееся основным путем подачи окислителя к очагу пожара внутри штабеля, первый и второй залп осуществили по 10 стволов из двух нижних ствольных рядов установки. При этом стволы задействованные в залпе располагались относительно друг друга в «елочку» или в шахматном порядке — по 5 стволов из нижнего ряда и второго ряда снизу. При этом огнетушащий вихрь сильно насыщенный тонкораспыленной огнетушащей средой (вода, гель, растворы или порошок огнетушащий) плотно заполнила все пространство через который осуществляется вентиляция штабеля изнутри. Затем этот вихрь за счет собственной кинетической энергии и при содействии воздушного напора естественной вентиляции заполнила все внутреннее пространство штабеля и, в первую очередь, зону горения. В результате произошло эффективное тушение — сбито пламя, охлаждена (ингибированы при распыле порошка) конденсированная (К) зона горения (основа процесса горения древесины) и

создана плотная огнетушащая среда, предотвращающая повторное воспламенение. При варианте тушения только порошком, необходимы дополнительные залпы «шквалом» — вихрем тонкораспыленной воды или продолжительная подача воды из традиционных ручных или лафетных стволов, т. к. без достижения достаточно полного охлаждения К-зоны не может быть достигнуто окончательное тушение. Например, после 2-х залпов порошковыми вихрями (пыльные «смерчи») и рассеяния образовавшегося газопорошкового облака на штабель влез пожарный с ручным стволом и в течение 5—7 минут заливал 2—3 небольших источника дыма — потенциальных очагов повторного возгорания.

Затем тот же штабель разожгли повторно со временем свободного горения 12 мин. Одновременные залпы из импульсных установок, расположенных под прямым углом с фронта 25 ствольной откатной и с торца штабеля 30-ствольной установками позволили сбить огонь и полностью затушить штабель выбросом массы тонкораспыленной воды — газоводяным шквалом. При тушении порошковым вихрем с 2 сторон понадобилась работа пожарного с ручным стволом в течение 2,5 минут. Может возникнуть вопрос — зачем нужны порошковые вихри, если водяные шквалы тушат быстрее и эффективнее. Дело в том, что дальность действия порошкового вихря в 1,5—1,7 раза выше. Поэтому при тушении развитого пожара с сильным теплосветоизлучением и высокой вероятности вспышек — выбросов пламени и взрывов, необходимо действие порошкового вихря с дальней, безопасной дистанции сбить пламя и уменьшить поражающее воздействие излучения и обеспечить подход импульсных установок на эффективную дистанцию действия водяного шквала.

На втором этапе испытаний разожгли второй штабель и с дистанции 25 м после 10 мин свободного горения с дистанции 35 м (из 25 ствольной установки) потушили этот штабель за 1 мин (54 с) тремя залпами по 8 стволов создавшими последовательные шквалы тонкораспыленной воды с доворотом по горизонтали на 5° после каждого залпа так, чтобы эти шквалы охватили не только зону горения, а и значительные объемы потенциально быстровозгораемого объема заполненного прогретой деревянной укупоркой (ящиками) вокруг зоны горения. Затем штабель с хорошо пропитанной водой поверхностью с трудом разожгли повторно, использовав для этого более 60 л

бензина. Это само по себе является хорошим доказательством эффективности импульсного тушения и практической невозможности повторного возгорания после этого тушения. После 10 мин. свободного горения осуществили тушение с дистанции 25 м тремя последовательными залпами по 10 стволов из 30 ствольной установки.

Анализ двух видов тушения горящего штабеля порошком и тонкораспыленной водой показал бесспорные преимущества последней, а также ряд следующих преимуществ газовой тонкодисперсного шквала:

- эффективное быстрое охлаждение внешней и внутренней поверхности горящих ящиков (укупорки) штабеля, обеспечивающее полное тушение всех зон горения — на поверхности и в объеме, надежная ликвидация возможности взрыва боеприпасов;
- быстрое збитие пламени, осаждение или унос дыма;
- обеспечение полной видимости во время всего процесса тушения, в отличие от порошкового тушения, когда порошковое, непрозрачное облако скрывает штабель, и, что особенно важно, непотушенные участки и очаги повторного воспламенения. При последовательном тушении порошком и затем водой образовавшееся после тушения порошковое облако быстро осаждается шквалом тонкораспыленной воды и обеспечивается видимость для прицельного шквального воздействия по очагам дыма в штабеле — явным признакам образующегося повторного возгорания.

Тушение 3-го штабеля мощной компактной струей воды было длительным до 40 мин и потребовало не менее 10 пожарных машин АЦ-40 с водой. Это означало фактический неуспех тушения — невозможность предотвращения перехода горения штабеля во взрыв боеприпасов на непотушенном участке. К концу тушения штабель был полностью разрушен от сочетания пожара и ударного воздействия водяной струи.

Штабель, который тушился с помощью АГВТ, сгорел быстрее всех — примерно за 4—5 мин после начала тушения, вследствие того, что тушащее воздействие имело локальный характер, а раздутие пламени мощным спутным потоком воздуха было тотальным — имело гораздо больший в 10—20 раз масштаба. В результате вокруг относительно небольшой зоны тушения существовала в 3—5 раз большая зона с интенсифицированным горением с большим белым пламенем, в результате чего суммарное

воздействие можно было классифицировать как не только не эффективное тушение, но сильно способствующее усилению горения, и, как следствие, переходу горения во взрыв боеприпасов. В результате штабель быстро сгорел и обрушился. Штабель с реальными боеприпасами несомненно взорвался бы во время тушения и уничтожил машины с пожарными: установку АГВТ, насосные машины (2—3) и не менее 10 трехтонных автоцистерн если нет по близости стационарного источника воды.

Анализ результатов экспериментов не оставил сомнений в том, что наиболее эффективный метод тушения импульсное тонкодисперсное распыление воды сразу по всему фронту участка горения (со стороны направления залпа) с мощным проникающим эффектом, обеспечивающим тотальное разрушение, охлаждение и разбавление конденсированной зоны горения. Разработка многоствольных установок на шасси лафетов, грузовых автомобилей, танков и унитарных герметичных патронов с различными огнетушащими составами позволило реализовать комбинированный способ импульсного тушения. Наибольшей дальностью воздействия, мощностью и проникающей способностью обладает газопорошковый импульсный поток. Единственным его не недостаток — малая охлаждающая способность, которая при импульсном методе подачи компенсируется высокой скоростью потока, обеспечивающей проникающее напыление порошка в поверхность горения. Однако в штабеле ящиков с боеприпасами сложная поверхность горения, на всю площадь которой трудно обеспечить достаточно мощное, разрушающее, и проникающее напыление порошка. Поэтому первые два залпа порошком по 150—250 кг из 8—10 стволов (15—25 кг порошка в каждом стволе) осуществляется с дальней дистанции и обеспечивает сбитие пламени, локализацию очага, снижают температуру в штабеле, ликвидируют возможность развития горения во взрыв боеприпасов. Снижение интенсивности теплоизлучения и временная ликвидация вероятности взрыва позволяет многоствольной установке быстро подъехать к штабелю и с расстояния 15—20 м осуществить один-три залпа распыленной водой. Туманообразный по непрозрачности, мощный скоростной шквал с широким фронтом окутывает штабель, проникает внутрь его и обеспечивает мощный объемный и поверхностный охлаждающий эффекты по всей площади горения. Последний залп можно сде-

лать пенообразователем или загущенной жидкостью, налипающей на потушенные нагретые поверхности, изолирующий их от притока тепла и окислителя и окончательно ликвидирующий возможность повторного воспламенения.

В объектовых пожарно-спасательных частях МЧС Украины находится семь 50-ти ствольных установок «Импульс 3М» на шасси танка Т-62. Шасси претерпело немного изменений: убраны боеукладки для снарядов и патронов, что заметно увеличило свободный объем обитаемого отделения танка и обеспечило возможность быстрой, аварийной эвакуации из пораженной горящей машины, полностью сохранена броня, защищающая от снарядов, обрушений и крупных осколков; системы фильтров очистки воздуха от токсичных, бактериологических и радиоактивных пылей и аэрозолей. Снятие с танка боеукладок и замена башни с артиллерийским орудием на многоствольную установку позволило облегчить танк на 5—7 тонн. В свою очередь это повышает скорость и маневренность машины Импульс 3М, а также позволяет оснастить ее дополнительным защитным оборудованием: навесные теплоотражательные экраны, из тонких металлических листов, крепящихся на стойках на расстоянии 5—10 см от брони, импульсные системы внешнего охлаждения путем орошения брони тонкораспыленной водой и внутренние системы пожаровзрывозащиты обитаемого и моторного отделения.

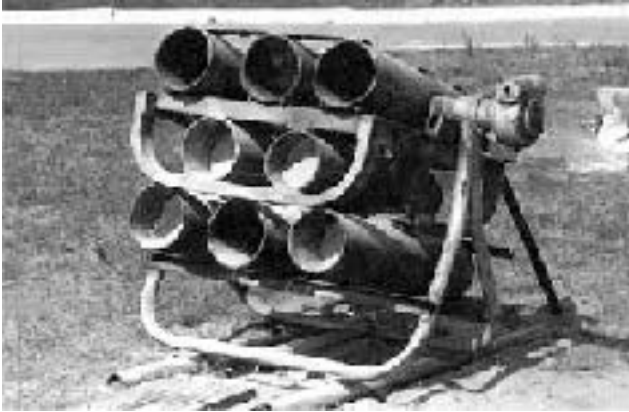
Стволы многоствольной установки могут заряжаться различными огнетушащими составами: жидкостями, растворами, гелями, порошками и сыпучими материалами. Благодаря этому одна пожарная машина впервые может осуществить полностью автономное, комбинированное эффективное тушение различных видов пожаров. Если запасы контейнеров с огнетушащими составами закончились, а компактные распылительные патроны еще есть (в боеукладках для снарядов возможно разместить до 500 патронов — 10 полных залпов, а контейнеры может подвозить только транспортная машина) возможно заряжать стволы и эффективно распылять из них различные природные материалы: грунт, грязь, песок, вода любой мутности, пыль, снег, лед и др.

Таким образом, работа данной установки в относительно небольшой степени зависит от подвоза контейнеров с огнетушащим составом. При полном срабатывании всех стволов, например 5

залпов по 10 стволов, возможно потушить штабель боеприпасов за время не более 1 мин после 10 мин свободного горения штабеля. Такую работу за 10—15 мин могут выполнить не менее 4-х традиционных пожарных танков ГПМ-54. Этого количества пожарных танков нет ни на одном украинском арсенале и трудно реализовать на практике их согласованную работу по горящему штабелю на открытой местности, а по штабелю внутри обваловки могут одновременно работать не менее 2-х машин ГПМ-54 или Импульс-3М или импульсных установок на шасси прицепов или артиллерийских лафетов. Такие 9—16 ствольные установки могут стоить в пределах 10—15 тыс. дол. в то время как машина Импульс 3М стоит до 80 тыс. дол., а машина ГПМ-54 стоит до 120 тыс. дол. Прицепные многоствольные установки могут транспортироваться к горящему штабелю различными пожарными и другими машинами, которые могут быстро доставить установку на позицию тушения, а сами удалиться в безопасное место.

Все виды многоствольных импульсных пожарных установок уже выпускались и могут быть выпущены на украинских заводах без импортных комплектующих. Вполне реально за 1—2 года оснастить этими установками наиболее крупные базы и арсеналы боеприпасов, а за 3—5 лет все остальные склады боеприпасов на Украине. Это позволит многократно снизить вероятность катастрофических пожаров и взрывов, которые были в Лозовой, Ново-Богдановке и др. Задача вполне реальная и гораздо более важная для боеспособности украинской армии и обеспечения безопасности страны, чем проведение парадов военной техники, военная помощь иностранным государствам или проведение дорогостоящих юбилеев давно прошедших исторических событий.

**Многоствольные модули  
Multibarrels modules**



*Многоствольный модуль автоматизированной системы защиты для технологической установки на нефти газовой платформе, в цеху, на портовом терминале, на танкере, в насосной или компрессорной станции.*

*Multibarrels modules of the automated system of protection for technological instalation on an oil-and-gaas plsatform, in shop, on the port terminal, on the tanker, in pump or compredssor station.*



*Многоствольная установка ОГ-160 кг, ВВ-1,5—2 кг, S=200—400 м<sup>2</sup>.*



*Тушение штабелей ящиков с боеприпасами с ГПМ-54 с лафетными стволами и запасом воды 9 т.*

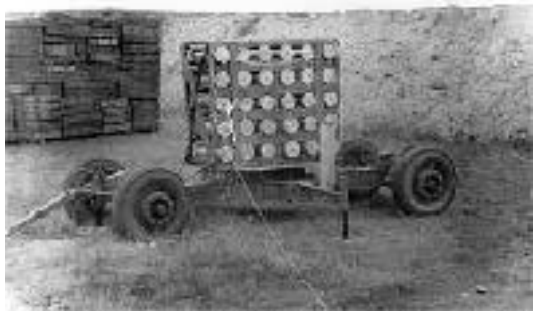


*Возимая многоствольная установка на пицете (артиллерийском лафете) как исполнительный модуль системы защиты. Carrying multibarrels unit mounted on the trailer or gun-carriage as a module for protecting system.*



*25-и ствольный модуль со стволами минометного типа. 25 barrels module with barrels of mortar-type.*

*30-ти ствольный модуль безоткатный. 30 barrels module not-recal.*



**Стадії тушення горящего штабеля ящиков с боеприпасами  
залпом из многоствольного модуля**



\* \* \*

1. *Куприн Г., Яковчук В.* Пожары на складах боеприпасов // Журнал «Пожарное дело», Россия, 1991. — № 7. — С. 22—24.

2. *Горностаев А.* Нужен новый подход // Журнал «Пожарное дело», Россия, 1996. — № 3. — С. 37—39.

3. Захматов В., Дьяков В. и др. Использовать возможности конверсии // Журнал «Пожарное дело», Россия, 1995. — № 3. — С. 14—16.

4. Осипчук И. Профессор Владимир Захматов: «В России мой противопожарный танк тушил штабеля боеприпасов всего тремя залпами» // Газета «Факты», 2003 г., 12 мая. — С. 8.

5. Пожарные танки боятся огня. Такого как в Новобогдановке не будет. Эта армия нас угробит // «Газета по-киевски», № 196 (1294) 29.08.2008. — С. 1—3.

*Отримано: 27.09.2008 р.*

---

## ДО АВТОРІВ

Повідомляємо вимоги до оформлення статей:

- матеріал, набраний на комп'ютері в текстовому редакторі Microsoft Word for Windows версії 6; 7 або 97 українською або російською мовами на дискеті 3,5" з роздрукованим одним примірником;
- об'єм тексту не менше 3 сторінок (40 рядків на 1 сторінку) без врахування рисунків, таблиць, схем;
- шрифт тексту Arial Cyr 12 пт, міжрядковий інтервал 17 пт, береги – ліворуч і знизу – 25 мм, праворуч і зверху 20 мм;
- ілюстративний матеріал подається в чорно-білій лінійній графіці на папері та на дискеті у форматі BMP, TIF;
- для авторів без наукового ступеня додається рецензія кандидата або доктора наук або рішення наукового підрозділу (кафедри, лабораторії, відділу);
- анотація українською, російською та англійською мовами;
- довідка про автора (авторів) з поданням контактних телефонів (робочого, домашнього).

Статті повинні відповідати вимогам постанови президії ВАК України №7-05/1 від 15.01.2003 р. «Про підвищення вимог до фахових видань, внесених до переліків ВАК України», а саме містити:

- постановку проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями;
- аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми та на які спирається автор, виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття;
- формулювання цілей статті (постановка завдання);
- виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів;
- висновки з цього дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі.

*Наукове видання*

# **ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА та природокористування**

**Збірник наукових праць**

**ВИПУСК 2**

Редактор — *І.О. Нечипорук*  
Технічний редактор — *В.С. Таргонська*  
Складання і верстка — *В.С. Таргонська*

Підписано до друку 15.11.2008 р. Формат 60×84/16  
Друк. арк. 13,75. Умов. друк. арк. 12,78.  
Обл.-вид. арк. 13,2. Тираж 300 прим.

---

Віддруковано в редакційно-видавничому відділі  
Київського національного університету будівництва і архітектури  
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру суб'єктів  
видавничої справи ДК № 808 від 13.02.2002 р.

КНУБА, Повітрофлотський проспект, 31, Київ-680, 03680