

УДК 910

О. П. Ковальов

Геосистеми як інформаційні машини

Харківський національний університет ім. В. Н. Каразіна

Анотація. В статті даються загальні уявлення про інформаційний аспект в географії і інформаційну машину як складову геосистем. Показано, що поняття про інформацію було введено А. Пуанкаре у вигляді так званих розривів Пуанкаре. Інформація розглядається як закріплення випадкового вибору. Наводяться приклади прояву дії інформаційної машини в геосистемах різних рівнів організації – мінеральних (флювіальний процес), біотизованих і антропізованих.

Ключові слова: геосистеми, геоінформаційні технології.

Природа від початку є складною і містить в собі всі можливі варіанти розвитку. Серед цих варіантів, при певних граничних умовах, є такі, які ведуть системи у бік все більшої складності. Рух систем вздовж градієнту інформаційного поля вимагає від них збільшення внутрішнього різноманіття, тобто подрібнення внутрішнього простору станів, що, у свою чергу, веде до росту невизначеності і необхідності “мати уяву” про свій *алфавіт станів*, тобто породжувати внутрішні моделі геоситуацій і можливих варіантів їх змін. Як пише Д. Марр, “деяка робота представляє собою всього лише” задачу обробки інформації” або “деякий організм представляє собою “всього лише” машину, яка здійснює обробку інформації” [1, с. 19 - 20]. Але такі системи є когнітивними, отже мову слід вести про порівняння ступеню когнітивності систем різних рівнів організації. При цьому система може навіть не знати про свої когнітивні властивості, тобто її когнітивна функція відтворюється разом з фізіологічною, а, отже, ніяк не самоусвідомлюється. Але “створення” нової інформації у вигляді нової структурної реалізації і нових режимів функціонування відбувається в ході *самоорганізації*. Це означає, що в системі діє *інформаційна машина*.

Знаменита теорема Анрі Пуанкаре та інформація. Хоча існує дуже багато робіт, в яких обговорюється питання визначення інформації, відносно цього поняття є певна невизначеність. Автор не береться вирішити цю проблему, але я хочу звернути увагу на той факт, що в науковому варіанті

це поняття (але не термін) було введено видатним Анрі Пуанкаре ще у 1892 році. Мова йде про так звану знамениту теорему А. Пуанкаре, яка формулюється так: *у найбільш загальній консервативній задачі канонічні рівняння класичної механіки не допускають ніякого іншого аналітичного постійного інтегралу, крім інтегралу енергії* [2]. Ця умова веде до так званих розривів Пуанкаре у рішеннях, знайдених за методом Гамільтона – Якобі. Мова йде про те, що повна енергія системи є єдиним виразом, який можна представити за допомогою математичної функції, яка *добре себе поводить*. Природу такого розриву показано на рис. 1. Тут же показано приклад такого розриву, який виникає, якщо два пов'язаних осцилятори коливаються з різною частотою. Відбувається розкошення частот. Це так звані фігури Ліссажу. Цей приклад є цікавим тому, що геосистеми – це значною мірою коливальні системи, в яких має місце взаємодія багатьох осциляторів. Так, водний потік в каналі – це, при найпростішому розгляді – два пов'язаних осцилятори, які коливаються у горизонтальній (ширина потоку) і вертикальній (глибина) площинах.

Для нас таке розуміння руху системи є дуже важливим, бо *розриви Пуанкаре* відповідають умовам, при яких передбачення стає неможливим: система *робить вибір самостійно*, а, отже, це заперечує існування детермінізму. На перший план виходить інформація як закріплення випадкового вибору, як *здійснення неочікуваного*.

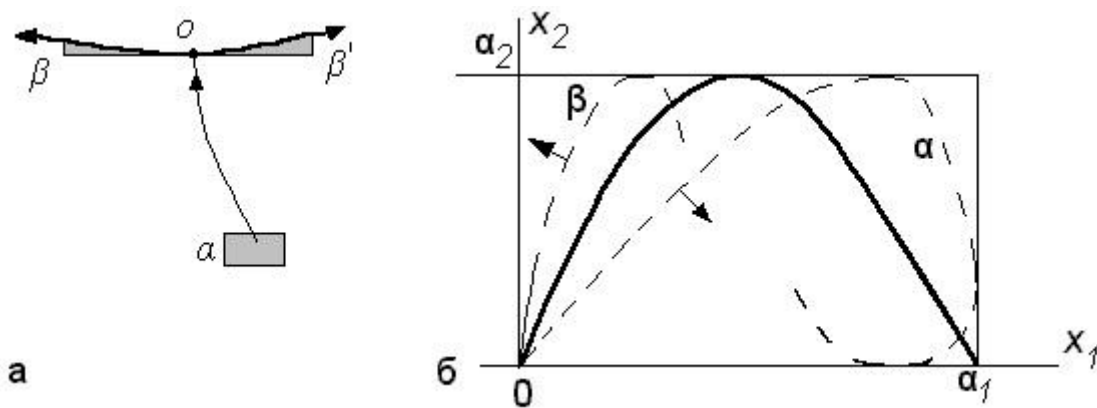


Рис. 1. Розрив Пуанкаре, який розділяє траєкторії руху системи: а – фізичний зміст розриву Пуанкаре, коли початкові умови містять невизначеність; б – рух у двомірному просторі (утворення “фігур Ліссажу”) [2]. Координата x_1 коливається від 0 до a_1 (з періодом t_1), а x_2 змінюється від 0 до a_2 (з періодом t_2). Якщо t_1 менше за t_2 , маємо криву α , в іншому випадку утворюється крива β .

Згідно з твердженням Дж. Ніколіса [3], інформація породжується не тільки через біфуркації, але і шляхом послідовності ітерацій, тобто все більш точного розв’язання невизначеності. Леон Бріллуен вводить інформацію так [2]:

$$I = K \ln(P_0/P_1),$$

де K – незмінна, яка залежить від вибору системи одиниць, \ln – натуральний логарифм, P_0 – множина подій, які можуть потенційно відбутися з однаковою імовірністю (якщо будь-яка інформація відсутня), P_1 – множина подій з рівною імовірністю, яка залишається після зняття певної невизначеності. Якщо імовірності розподіляються нерівномірно, використовують формулу інформаційної ентропії К. Шеннона:

$$i = -\sum_j p_j \ln p_j$$

Згідно з твердженням Г. Хакена [4], прирощенню інформації відповідає величина:

$$K = \sum_j p_j \ln \frac{p_j}{p'_j},$$

де p_j – розподілення ймовірностей станів з індексом j ; p_j та p'_j – два послідовних розподілення станів.

Тут важливо розуміти, що порушення просторової симетрії є головною передумовою, яка дає можливість говорити про інформаційний процесор. Питання утворення просторових структур обговорюється в роботі Г. Хакена [4]. Для цього оператор, який діє на деяку величину, яка характеризує розподілене середовище, повинен мати похідну по просторовій координаті. При наявності тільки одного параметру порядку, який зростає у часі, ми мати-

мо мемо еволюцію просторової структури, як це показано на рис. 2 [4]. У геопросторі можна знайти багато прикладів порушення просторової симетрії.

Закріплення відібраного варіанту дозволяє виділяти, інтерпретувати та передавати “повідомлення”, приховане у нелінійній динаміці неврвноваженої системи. Отже, інформація тісно пов’язана з порушенням симетрії. Але для нас важливим є питання механізму виникнення асиметрії. Таким механізмом є біфуркація, що супроводжується порушенням симетрії, яка відбувається у вигляді неповторної події. Ще один механізм пов’язаний із впливами середовища, зміни якого відзначаються значними коливаннями (такий відбір описаний в роботі В. Хорстемке і Р. Лефевра [5]). Так званий мультиплікативний шум може не тільки чинити дезорганізуючий вплив на систему, але і стабілізувати в ній нові макроскопічні стани.

Геосистема в інформаційному просторі. Геосистеми, які відносяться до категорії дисипативних систем, функціонують в умовах, коли їх середовище постійно змінюється, і у цих змінах присутні як певні регулярності, так і стохастичні флуктуації. В таких системах має бути тісний зв’язок між структурою і функцією, бо вони є адаптивними системами. Структура геосистеми складається з множини певним чином пов’язаних між собою елементів апаратурної реалізації (елементарні басейни, ерозійні канали, популяції організмів, елементарні господарські одиниці і т.п.). Для того, щоб описати таку систему, треба визначити множину вхідних сигналів (стимулів), множину вихідних сигналів (реакцій) і правила підкріплення, які є функцією її ре-

акцій на певні входні сигнали. Зовнішнє середовище, в якому знаходиться геосистема, пред'являє кожному її елементу в кожний відрізок часу t певний клас ситуацій ($A_1(t), A_2(t), \dots, A_N(t)$). Такі ситуації, взагалі кажучи, утворюють континуум. Але геосистема може реагувати на зміну ситуації стрибкоподібно, тобто сукупність реакцій є кінцевою (R_1, R_2, \dots, R_M) [6]. Таким чином, в кожний момент часу перед елементами геосистеми постає необхідність "прийняття рішення" (у "метаболичному" смислі) про перехід у той чи інший стан. Підкріплення ж реакції відбувається завдяки природному відбору. Геосистеми, які не спроможні вчасно відреагувати на зміну ситуації, накопичують помилки і врешті решт руйнуються. В такому разі оптимізація системи

означає подовження терміну її існування. Оскільки між ситуаціями і станами геосистем з причини наявності внутрішніх флуктуацій немає взаємної відповідності (взаємодозначного відображення), геосистема має робити вибір. Але більш цікавим моментом є випадок, коли система є активною в своєму пошуку оптимального напрямку руху. А це неможливо, якщо вона має обмежений набір станів і не спроможна породжувати нові. Більше того, перевагу повинні мати такі системи, які містять режими з минулого (пам'ять) і такі, які можуть знадобитися у майбутньому, хоча це дещо зменшує ефективність, бо збільшує ентропію: минуле, сучасне і майбутнє поєднуються у текучій ситуації.

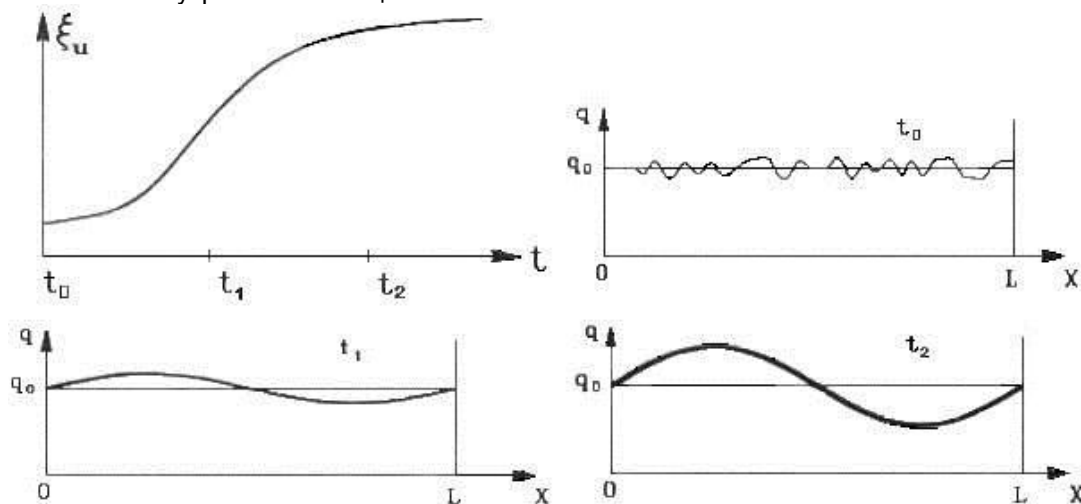


Рис. 2. Еволюція просторової структури у часі (показано три стадії: t_0, t_1 та t_2) під впливом росту параметру порядку. Ріст параметру порядку показано вверху зліва. Рисунок зкомпановано на основі рисунків з роботи [4].

Отже, геосистеми мають постійно здійснювати роботу з вимірювання ситуації та її порівняння з її внутрішнім відображенням (моделлю), що вони роблять з певною точністю. До речі, наявність хаосу в режимах геосистем є тим інструментом, завдяки котрому вони можуть змінювати точність виміру (відмінності між різними варіантами режимів (з роботи [7]) показані на рис. 3). Це означає, що у функціональній структурі геосистем має бути такий рівень динаміки, який передбачає відображення в термінах символічної динаміки і інформації, тобто інформаційні процеси у геопросторі виникли разом з першими геосистемами і еволюція останніх має включати, в першу чергу, саме удосконалення апаратної реалізації інформаційних ма-

шин. Це необхідно для того, щоб опанувати середовища із все більшим інформаційним насиченням. Якщо виходити з того, що інформація є запам'ятовуванням випадкового вибору (наприклад [8]), система має постійно вести пошук нових варіантів. З причини обмеженості ресурсів, стара інформація має стиратися. Таким чином, принаймні частина системи має постійно перебувати у досить складному стані постійного руйнування і становлення. Такий стан отримав назву критичності, що самоорганізується (наприклад, [9, 10]). Його головною рисою є те, що він породжує флуктуації, розподілення яких описується ступеневою функцією. Такий стан є аттрактором – обмеженою областю фазового простору, до якої система притягується.

Саме в таких умовах породження нової інформації стає найбільш спрощеним. Ро-

зглянемо головні питання такої дії.

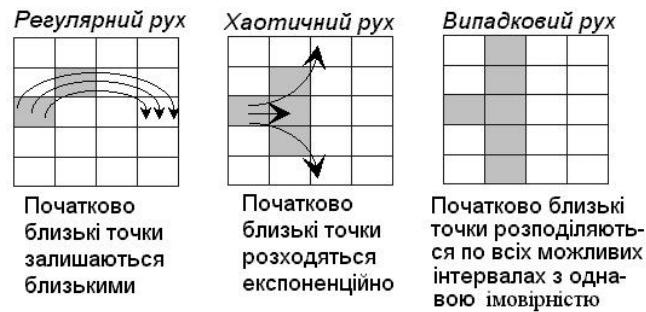


Рис. 3. Три варіанти руху системи, як їх уявляє Г. Шустер [7].

Самоорганізація критичності та "прироцнення" інформації. Слід зазначити, що фізичною основою відбору інформації є не лінійність динаміки системи, яка проявляється в першу чергу у вигляді порушення просторової симетрії. Такі процеси передбачають потрапляння системи у критичні стани. Критичні стани в цілому є темою широкого обговорення у фізиці фазових переходів. Вони відзначаються значним збільшенням флуктуацій, які стають макроремінними. Але стан самоорганізації критичності відрізняється від звичайних критичних станів тим, що система, яка опинилася в такому стані, залишається в ньому на протязі невизначеного терміну, тобто такий стан є атрактором. Такий стан може відтворюватись при досить обмежених граничних умовах, але саме в цій області система демонструє найбільше різноманіття режимів. Важливим моментом є те, що зв'язки між складовими системи є різними за природою і інтенсивності. Це означає, що природні системи ніколи не знаходяться в стані абсолютної адаптованості і максимально можливої ефективності функціонування, бо такі системи просто не могли б існувати у середовищі, яке швидко і непередбачено змінюється. В той же час існує деякий мінімальний поріг відповідності умовам, опинившись нижче якого складові випадають із структури системи. Оскільки вони пов'язані з іншими складовими, певна частина системи руйнується, утворюючи "лавини вимирання". Це веде до вивільнення частини ресурсу і необхідності перетворення структури системи, її переходу в інші області функціонування. Саме в ці періоди несталості виникає можливість приєднання до системи нових складових і перетворення структури. Слід додати, що саме в ці періоди в системі має зростати і конкуренція, яка

стимулює відбір. Але тільки знаходячись в стані самоорганізації критичності, система може просуватися в напрямку градієнту концентрації інформації, виходячи на все більш складні режими функціонування у середовищах, все більш насичених інформацією. В той же час, перебування в таких умовах вимагає від системи посилення функції внутрішнього регулювання, що неможливо зробити без розбудови механізмів символічної динаміки з метою моделювання середовища і самої себе у цьому середовищі. Мова йде про принцип максимуму інформації [11]: *в ході становлення, система прагне максимізувати кореляції між стимулом (впливом середовища) і відкликом (поведінкою системи)*. Цей принцип знаходиться у відповідності до умови обмеженості енергетичних ресурсів. При цьому в системі має відбуватися природження інформації завдяки урізноманітненню реакцій і збільшення їх точності. Це вимагає від системи мати у своєму репертуарі певний набір режимів, які встановлювались в минулому і з різною імовірністю можуть виникнути у майбутньому, тобто вона має рухатись до стану інформаційного насичення (структурно-функціональної повноти). Отже, в системі водночас мають бути присутні елементи функціонування минулого, сучасного і майбутнього, а в самій системі повинні бути механізми пошуку режимів, що відзначаються найбільшою відповідністю граничними умовам, що виникли на даний момент часу. Це означає, що частина системи має постійно перебувати у стані пильнування, всередині неї час від часу має спалахувати активність. В той же час збільшення внутрішнього різноманіття викликає потребу у функції керування, бо складність веде до хаосу, якщо не приборкується ієрархією.

Поняття про інформаційну машину. Інформаційну машину визначимо як *структуру, динамічні режими якої дозволяють здійснювати роботу з обробки, і закріплення відібраної інформації шляхом використання негентропії зовнішнього потоку енергії*. На вході такої машини невизначеність має бути більшою, ніж на виході. Метою дії інформаційної машини має бути оптимізація значень параметрів порядку (наприклад, вхідної потужності), які організують її структуру. Такі машини існують в природі на різних рівнях організації. Прикладом може бути просування равлика [12]. Д. Марр пише: "Одна з чудових особливостей інформаційних машин полягає в тому, що для їх повного розуміння необхідно прийняття множини пояснень на різних рівнях" [1, с. 20]. Тут не існує якогось одного підходу, або моделі: кожен проблему слід розглядати з кількох точок зору.

Розглядаючи питання дії інформації на систему, Г. Хакен користується вектором її стану, який виникає внаслідок об'єднання окремих перемінних q_i , сукупність яких характеризує систему. Ці перемінні можуть змінюватись у часі. Такий вектор стану записується так [4]:

$$\mathbf{q}(t) = [q_1(t), q_2(t), \dots, q_N(t)].$$

Еволюція цього вектора, тобто динаміка системи, визначається диференціальними рівняннями виду:

$$d\mathbf{q} / dt = \mathbf{N}(\mathbf{q}, \mathbf{a}) + \mathbf{F}(t),$$

де \mathbf{N} – детерміністична частина, а \mathbf{F} – флуктуації, \mathbf{a} – керуючі параметри., t - час. Якщо при відсутності флуктуацій значення вектору станів \mathbf{q} у початковий момент часу відомо і керуючі параметри задані, майбутнє вектору \mathbf{q} визначено однозначно. З часом цей вектор прагне вийти на аттрактор. Задати керуючі параметри означає визначити конфігурацію "поверхні" (це може бути n -мірна гіперповерхня), по якій рухається система. Всередині системи проявляються так звані параметри порядку (Г. Хакен називає їх інформаторами), які встановлюють дальні кореляційні зв'язки, зумовлюючи зростання когерентності її складових. Параметрами порядку частіше за все є виділені моди.

Отже, система "занурена" у складний потік буття, який перетворює існуючі і породжує нові системи, які починають входити у взаємодію між собою, виборюючи право на існування. Якщо мова йде про геосистему, можна говорити про геоситуацію, яка постійно змінюється. На систему в такому просторі діють як сили "тяжіння" (у

напрямку аттрактору), так і сили опору (в'язкість), що заважають просуванню. Проблема відбору і породження інформації виникає тоді, коли складний сигнал може привести до різних аттракторів (в одному басейні може бути кілька аттракторів). У такому випадку відбір аттрактора означає "породження" інформації. При цьому система має керуватися кореляціями між *внутрішнім образом* середовища, якщо такий є всередині системи, і структурою того потоку сигналів, яка подається на вхід системи із зовні. В цьому плані дуже привабливою виглядає розробка Сейновського з співавторами [4], які розробили так звану "машину Больцмана". В її основу було покладено інформацію Кульбака.

В той же час, структура середовища може бути дуже складною і мінливою, що не дозволяє системі зупинитися у своєму русі. До того ж мінливість часто носить випадковий характер. Це означає, що, щоб залишатися сталою, система має постійно обробляти сигнали з боку середовища, розпізнавати їх і відповідним чином реагувати (адаптуватися, або, якщо це можливо, певним чином перетворювати середовище). "Розпізнати" означає "відобразити" в своїй структурі (морфологічній або динамічній), перекодувати сигнал, використовуючи "внутрішню мову" у вигляді тих або інших структурних зв'язків і запам'ятати. "Розпізнати" означає *перекласти на внутрішню мову системи*. "Але можливість перекладу означає існування інваріанту. Перекласти як раз і означає: виділити цей інваріант" – пише А. Пуанкаре [13, с. 268]. "Відобразити" – значить втратити внутрішню симетрію, ускладнитись. Нарешті, "відобразити" означає *змінити геометрію простору станів системи*. У. Гренандер вважає, що мета будь-якого розпізнавання – не стільки в отриманні рішень типу "так", "ні", "не знаю", скільки вироблення структурних зображень (патернів). При цьому жодна модель обробки не спроможна виробити задовільний опис, поки у неї не буде закладено деяку *породжуючу граматику* того класу образів, які аналізуються [14]. Таким чином, структурно-функціональна організація будь-якої геосистеми має включати різноманітні режими з різним характерним простором-часом, тобто як великомасштабні, так і мілкомасштабні. І це підтверджується емпіричними даними. Хоча, як здається, сталість системи пов'язана з присутністю в системі великомасштабних

функціональних ланок, які діють у режимі гомеостазу, в природних системах частотні і метричні спектри є досить широкими. Це пов'язано з тим, що надійна обробка інформації вимагає наявності в системі хаотичних режимів, розвитку турбулентності, яка, як відомо, включає широкий спектр дій. Але далі постає питання про організацію таких систем, бо хаос і різноманіття знижують сталість. Отже, хаотичні режими мають бути локалізованими в окремі функціональні кластери, які концентруються у периферійних частинах системи і формують мережу всередині неї, що розчленовує сталі гомеостатичні зони. З'єднуючись, елементи мережі утворюють вузли, в яких і відбувається переробка імпульсів. Такі структури можуть рухатись у просторі. Ще один важливий чинник – *внутрішня активність* системи, яка виникає при наявності певної кількості вільної енергії і складності. Тільки в цьому разі геосистема виходить на реалізацію активного пошуку. Не можна, не торкнутися і питання локалізації когнітивної функції. Принцип локалізації функцій – один з найважливіших, бо він має відношення до проблеми ефективності: із збільшенням локалізації функцій система стає більш ефективною. В геопросторі ми також маємо прояв такої локалізації когнітивної функції в напрямку від мінеральних геосистем до їх когнітивованого варіанту.

В основі дії природних інформаційних машин лежать явища резонансу і самоорганізації. Як зауважує Дж. Ніколіс [3], на відміну від гамільтонових систем, дисипативні системи перетерплюють послідовність порушень симетрії. Їх еволюція характеризується *виробництвом ентропії*, яке супроводжується все більшою диференціацією і *нароощуванням складності*. Цей процес, в свою чергу, вимагає виникнення ієрархічних співвідношень між групами станів. Ще одна характеристика – *самоорганізація* – стає можливою, коли складність перевищує певний критичний поріг. Вона пов'язана із спроможністю системи моделювати (тобто стискати до алгоритмів мінімальної довжини) навколишнє середовище і частини самої себе. Це означає, що взаємодозначне відображення не може породжувати самоорганізацію. Внутрішня модель дозволяє суттєво скоротити витрати ресурсів на пошук режиму поведінки, адекватної ситуації. Можна сказати, що це відповідає закону мінімальної дії. Наступним рівнем слід вважати виникнення

швидкого моделювання [15], яке є характерним для ссавців і тепер ми наближаємось до того, що воно буде створено на рівні антропізованих геосистем.

Рівень когнітивності системи визначає її спроможність оцінювати ситуацію на основі переробки інформації і адекватно реагувати на неї, тримаючись заданої мети. Коли тиск з боку середовища змушує систему прискорити темп обробки сигналів вище деякої межі, система або гине з причини накопичення помилок, що проявляється у виникненні негативних деформацій, або переходить на більш високий когнітивний рівень, створюючи додатковий цикл виявлення помилок з метою зведення до мінімуму викривлень, що є причиною високої щільності потоку сигналів. Природний відбір сприяє системам, які можуть ускладнюватись, переробляючи все більшу кількість інформації. З цієї точки зору дуже цікавою є робота Є. Седова [16]. Він показав, яким чином відбувається стиснення інформації при переході з одного ієрархічного рівня на інший.

Важливим моментом є кількість інформації, яка залежить від ступеню диференціації геоситуацій. Це дає змогу говорити про інформаційну розмірність як швидкість зростання кількості інформації при збільшенні розв'язуючої спроможності системи:

$$D_j = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \left[\frac{I(\varepsilon)}{|\log_2 \varepsilon|} \right],$$

де D_i – інформаційна розмірність, ε – розв'язуюча спроможність (розмір чарунок), I – інформаційна ентропія [3]. Фрактальна розмірність є верхньою межею інформаційної розмірності. Так, фрактальність (у певних межах) флювіальних мереж (цей факт доведений багатьма дослідниками, починаючи з Б. Мандельброта) можна розглядати як прагнення до геометрії з максимальною розв'язуючою спроможністю цих природних систем. Слід додати, що збільшення кількості інформації викликає необхідність збільшення станів, тобто алфавіту системи. Якщо замість (ε) ввести елементи символічного відображення системи, можна, за аналогією, ввести поняття про власну розв'язуючу спроможність, коли $N \rightarrow \infty$, де N – кількість символів-станів в алфавіті. Інформація може існувати тільки будучи укладеною у той чи інший носій, властивості якого обмежують її кількість. Чим більше інформації містить даний носій, тим більш складний оператор

дії вона кодує. Оператори дії – це динамічні режими системи. Наявність інформації в системі дає їй можливість досягати певної мети, тобто збільшувати імовірність здійснення певної події: при цьому імовірність цієї події починає перевищувати її спонтанне значення. За відсутності такої інформації (яка використовується для побудови внутрішньої моделі) система має робити максимально можливу кількість рухів у самих різних напрямках, обслідуючи в *сліпу особистий простір станів*. Такі рухи є випадковими і імовірність знаходження необхідного режиму є при цьому дуже малою. Мова йде про внутрішні флуктуації, які задаються алгоритмом, який не стискається, що веде до збільшення внутрішньої ентропії (рис. 4а). По суті справи, система постійно “мутує”. В той же час

без цього взагалі неможливо натрапити на доцільний режим. Якщо системі вдається, завдяки *резонансу*, визначити необхідний режим, відбувається орієнтація рухів у просторі станів у відповідному напрямку (рис. 4б), що зменшує її поведінкову ентропію. Таким чином, ми, за характером руху системи, маємо три головних стани (динамічні режими), які є атракторами: гоомеостатичний (з переважанням регулярної динаміки), стохастичний і критичний. Перший є наслідком послідовності ітерацій, направлених до так званого *граничного циклу* (один з варіантів атрактору), другий є наслідком дії другого початку термодинаміки і веде до стирання інформації, і тільки третій дозволяє постійно створювати нову інформацію шляхом переструктурування - заміни її носіїв та операторів дії.

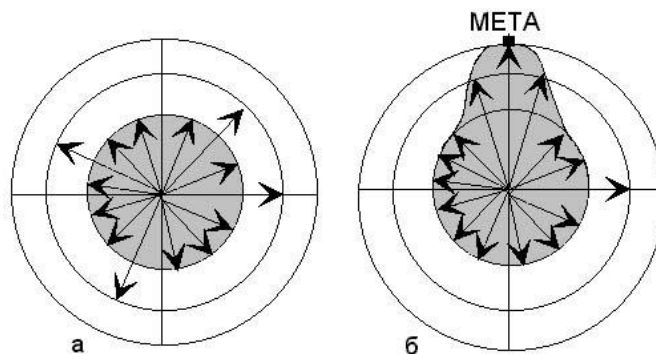


Рис. 4. Рухи системи при: а – відсутності мети, б – наявності мети.

Важливим моментом є питання, чи справді інформаційна машина виробляє інформацію? Подібну проблему ще у 50-х роках розглядав Л. Бріллюєн [2]. Обговорюючи роботу обчислювальної машини, він писав, що такі машини не виробляють інформацію, а тільки обробляють її. Але мова йде про виділення певного варіанту серед астрономічної кількості інших варіантів, що як раз можна розглядати як саме *виробництво* інформації. Завдяки цьому виникає структура (морфологічна, або поведінкова), в якій маса ймовірностей має суттєво інше розподілення, ніж напередодні. По суті справи, інформаційна машина саме і перерозподіляє цю “масу”, змінюючи “вагу” або цінність інформації окремих варіантів за рахунок інших. Кожна операція по утворенню такої структури має свою *негентропійну ціну*.

Слід відмітити, що уявлення про інформаційну машину (нейронну модель навчання) виникли досить давно. Так, Р. Розен [6] наводить приклад моделі Ландаля (Landahl H.D.), яка була опублікована у

1941 році. На цій схемі S_1 і S_2 – два стимули однакової інтенсивності, які поступають із зовні. Дія одного з них - S_1 або S_2 викликає відповідну реакцію R_1 або R_2 . Проблема виникає тоді, коли стимули діють водночас, що може привести до помилки. Контури зворотного зв'язку відіграють роль регуляторів, які утворюють “позитивне” підкріплення відібраного варіанту.

Другим кроком було створення моделі перцептронів. Загальні положення дії таких систем були розроблені у вигляді моделі перцептронів, яка вперше була описана Ф. Розенблаттом (наприклад, [6]). Структура перцептронів включає кілька шарів. Перший – вхідний – є “сенсорним”, який сприймає сигнали, що йдуть із зовні. Вони передають простий бінарний сигнал (“так”, або “ні”) до елементів наступного шару, який можна назвати “асоціативним”. Отже, сенсорний шар перетворює безперервний сигнал у кінцеву сукупність дискретних символів. Така “дискретизація” є характерною для адаптивних систем. Елементів другого шару менше і вони на виході ви-

дають також двоїчний сигнал. Стан цього шару описується більш короткою послідовністю символів. Далі йде проміжний шар, елементи якого приписують певну вагу сигналу відповідного елемента попереднього шару. Вихідний шар частіше за все складається з одного реагуючого елемента, який отримує інформацію про “зважений” стан елементів попереднього шару у вигляді $\sum \omega_i a_i$, де a_i – вихідний сигнал i -го асоціативного елемента, а ω_i – його вага. В наш час існують більш розвинуті моделі штучного інтелекту, наприклад, пандемоніум (система розпізнавання образів, що самонавчається [17]), а також так звані штучні нейронні сіті. Відповідні комп’ютерні програми дозволяють вирішувати складні питання оптимізації пошуку рішень в умовах значної невизначеності ситуації.

Дію інформаційної машини можна представити наступним чином. Система формує (або трансформує) свою структуру у деякому анізотропному середовищі. В такому випадку вона повинна мати активний центр, від якого імпульси активності розповсюджуються у всьому просторі системи. В результаті багатьох взаємодій, енергія активності починає “розтікатись” у фазовому просторі, охоплюючи все більш широкий спектр мод, що, зрозуміло, веде до зменшення потужності. На периферії відбувається взаємодія з середовищем із певною структурою, яка може бути вираженою нечітко (в інших випадках необхідність в інформаційній машині просто відпадає). Можна припустити, що групи активного центру і субстрату характеризуються незалежними *конформаційними узагальненими координатами* ($x_1, x_2, x_3, \dots, x_N$), кількість яких N . Просування буде здійснюватись із швидкістю W , яка залежить від відстаней і орієнтацій відповідних груп $W(x_1, x_2, x_3, \dots, x_N)$. Спроможність просуватись в необхідному напрямку залежить від наближеності конфігурації активного центру (по суті справи – внутрішньої моделі ситуації) до оптимальної: просування відбувається тоді, коли координати (x_i) опиняються в області “реакційних” значень (x_i^0). При відхиленні конформаційної координати i -ї активної групи від оптимального значення швидкість “реакції” (просування) зменшується експоненційно. Відхилення системи від оптимального стану в такому випадку виражається так [18]:

$$p^2 = \sum_{i=1}^N (x_i - x_i^0)^2.$$

Ми приходимо до висновку, що розвиток структури визначається *спорідненістю* геометрії самої структури і того “субстрату”, в якому відбувається процес. Судячи з усього, вони повинні допускати *конформні відображення*. Якщо розглянути вище відстань системи від оптимуму нормувати на одиницю, стає зрозумілим, що у варіантах, близьких до крайніх у дії такої машини немає сенсу. Отже, має існувати певний діапазон значень відхилення системи від оптимальної точки, в якому дія інформаційної машини дає необхідний результат. Важливо, щоб час перебування системи в “реакційному” стані значно перевищував характерний час елементарних актів просування.

Двома найважливішими режимами функціонування інформаційних машин є *інтегрування* (узагальнення) і *диференціювання*. Такі режими реалізуються за допомогою конвергентної і дивергентної структур. В першому випадку система працює в режимі інтегрування і виділення найбільш сталих сигналів. В другому випадку машина працює в “аналітичному” режимі на основі використання похідної від функції на вході. Саме в цьому режимі нелінійні системи мають проявляти суттєві переваги у порівнянні з лінійними. Мова йде про режими з позитивними зворотними зв’язками, завдяки котрим як раз і відбувається *перерозподіл ціни* того чи іншого варіанту і його запам’ятовування. В геосистемах всіх рівнів організації ці дві функції мають реалізовуватись водночас, що вимагає певної просторово-часової організації.

Інформація може зберігатись в системі завдяки як структурі, складеній з елементів апаратурної реалізації, які детермінують потоки речовини і енергії, так і у вигляді динамічних режимів. Слід мати на увазі, що інформаційний зміст структури системи тим більший, чим більше можливостей вона виключає, тобто чим більш тонкі шари структури вона спроможна відобразити в своїй структурі і поведінці. Для того, щоб інформаційна машина працювала, вона повинна містити таку динаміку, яка дозволяє постійно знаходитись в режимі обробки сигналів, тобто її структура має постійно знаходитись в режимі становлення. Таку можливість як раз і надає розглянутий вище особливий динамічний стан самоорганізації критичності.

Виходячи з сказаного, можна прийти до висновку, що важливою складовою динаміки системи, яка постійно знаходиться в адаптивному режимі, є несталість, наявність хаотичних режимів. Така несталість

може бути зумовлена зовнішніми факторами. Але для нас більш цікавим варіантом є несталість, яка зумовлена внутрішніми чинниками. Така динаміка має базуватися на дії певних нелінійних механізмів дестабілізації. Саме такі механізми мають виникати на певних етапах "онтогенезу" геосистем. Показником хаотичності динамічної системи, тобто швидкості втрати інформації про минулий стан, є ентропія Колмогорова (*K*-ентропію) яка визначається як середня швидкість втрати системою інформації [7].

Чому потрібна саме мережа? Це питання є дуже важливим. Чому в природних умовах апаратна реалізація інформаційних машин прагне утворити мережу? Думаю, відповідь має бути такою: для того, щоб один елемент міг надійно обробляти інформацію, він має містити в своїй динаміці безліч різноманітних режимів, в тому числі детермінований хаос, що вводитиме її у протиріччя із сталістю і можливістю фіксувати зроблений вибір. Наявність мережі дозволяє розділити функції і реалізовувати в різних своїх частинах водночас кілька режимів, здійснюючи настрійку на різні зовнішні впливи. Наприклад, сукупність периферійних елементів може розглядатись як деякий засіб безпосереднього відображення, який забезпечує *сенсоріум* (термін Д. Марра) копією фізичних подій, що відбуваються на "поверхні" системи. Далі слід розрізнявати конвергентні і дивергентні сіті. Приклади відповідних структур існують навіть на рівні флювіальних мереж. Звичайна річкова мережа є конвергентною в один бік і дивергентною в інший. Такі сіті обробляють інформацію, що надходить до їх периферії. Так звані переплетені потоки [19] також є конвергентно-дивергентною структурою, яка обробляє інформацію площинного характеру. Важливою характеристикою мережі є наявність в її функціональній структурі режимів, які можна розглядати як оператори, що проєктують зовнішній сигнал у внутрішню структуру. Саме їх наявність переводить вхідний вектор у вихідний, здійснюючи відображення, що дає змогу побудувати рівняння сіті [20, 21].

Локалізація функції інформаційної машини: від обробки інформації "тілом" до обробки інформації штучним інтелектом. В ході еволюції геопростору геосистеми ускладнюються, що вимагає розвитку когнітивної функції. Все більшою мірою проявляється цілеспрямованість геосистем. На мінеральному рівні організації така когнітивна функція повністю співпадає з "фізіоло-

гією" геосистеми, тобто є результатом тих фізичних процесів, які відтворюються у всьому просторі басейну, тобто тут немає навіть натяку на відокремлення когнітивної функції на рівні апаратної реалізації. У біотизованих геосистемах цілеспрямованість посилюється, що не може не відбиватися на прояві когнітивної функції: тварини мають мозок. В антропізованих геосистемах цілеспрямованість визначається устремліннями окремих людей і угруповань. Це веде до необхідності підвищення ефективності когнітивної функції, що вимагає її локалізації як на функціональному рівні, так і на рівні апаратної реалізації. Більше того, сама техносфера, досягнувши "критичної маси", починає використовувати мозок людей. Але саме технічний прогрес врешті решт закладає базу для утворення систем штучного інтелекту, внаслідок чого антропізовані геосистеми демонструють свого роду "цефалізацію".

Тепер розглянемо деякі особливості дії інформаційних машин на різних рівнях організації геосистем.

Рівень мінеральних геосистем. Може найбільш цікавим прикладом є водний потік, що взаємодіє з поверхневим шаром ґрунту. Такий потік породжує безліч різноманітних режимів, в тому числі пов'язаних з вміщенням частинок ґрунту. Тертя, яке виникає між потоком і поверхнею, по якій він рухається, також може привести до виникнення коливань з різними характеристиками. Більше того, потік має постійно "обчислювати" ситуацію. Отже, він вже сам по собі є справжньою інформаційною машиною. Водночас він обслідує внутрішній простір динамічних режимів і відстежує характер тієї поверхні, по якій він рухається. Як це може бути?

Почнемо з ідеальної нахиленої поверхні, по якій рухається площинний потік. Розіб'ємо шар води на окремі елементарні чарунки. При стаціонарному розході потік на вході і на виході кожної такої чарунки буде однаковим. Течія буде ламінарною, направленою в напрямку зниження поверхні. В такій ситуації відсутня можливість утворення ерозійних ритвин і, відповідно, інформації. Але якщо поступово нарощувати розхід потоку вниз по схилу, як це показано в роботі [22], різниця тиску від верхніх чарунок до нижніх, яка визначає швидкість руху буде зростати. Коли швидкість течії досягне критичного значення, при певній глибині потоку ламінарний режим втратить сталість і потік перейде у турбулентний режим. Виникне ситуація, яка спостерігається у відомому експерименті

Тейлора. Це означає, що траєкторії сусідніх водних струмів будуть експоненційно розходитись аж до мінімально можливих струмочків, які ще можуть утворювати вихори (обмеження розмірів зумовлені в'язкістю). Між вихорами мають виникати області зниженого тиску, що породжує асиметрію потоку. Потік починає пульсувати, і така пульсація є нерегулярною. Такий рух є хаотичним. Хвилі хаосу блукають у просторі потоку, "обстежуючи" його, посилюючи потік там, де для цього випадково виникають сприятливі умови. Векторне поле у латеральній площині втрачає локальну відповідність вектору градієнту схилу. А це вже означає, що потік став несталим, бо між окремими чарунками та їх кластерами будуть утворюватись різності потенціалів тиску. Локальне збільшення глибини водного шару може привести до порушення сталості у вертикальній площині. Сталість ламінарного потоку повністю руйнується. Виникає турбулентність, яка веде до все більшого подрібнення фазового простору, що збільшує розв'язуючу спроможність потоку як інформаційної машини. якщо знову звернутися до формули, яка виражає інформаційну розмірність, то мінімальні розміри турбулентних вихорів як раз і будуть визначати величину ε . Ми маємо цікавий приклад, коли за допомогою простої (одноманітної в генетичному і речовинному плані) апаратурної реалізації система може "вирішувати" задачу руху у складному середовищі (структура опорного простору). До речі, саме це суттєво збільшує імовірність початку ерозії.

Слід відзначити, що система "водний потік – земна поверхня" при турбулентному режимі потоку знаходиться в стані самоорганізації критичності, про який йшлося на початку статті. Це твердження базується на тому, що при досягненні еродуючої швидкості, потік починає зривати частинки ґрунту, що веде до утворення ерозійних мікрофронтів, які просуваються вгору по схилу, утворюючи своєрідні ерозійні лавини. В залежності від умов, фронти можуть бути широкими і сталими (площинна ерозія), або локальними (ерозійні канали). Останні виникають внаслідок порушення сталості фронту і локалізації ерозії. Саме з ними пов'язано утворення флювіальних мереж.

Флювіальна мережа як апаратурна реалізація флювіальної інформаційної машини. Хоча розглянутий процес є локальним, він веде до виникнення регулярних структур шляхом кластеризації суміжних чарунків і утворення системи мікробарів. Але виникнення такої мофоструктури поверхні значно збільшує ступінь виразності роботи флювіальної інформаційної машини, бо тут підключається ще і потік ґрунтових частинок, що веде до нарощення розмірності фазового простору і збільшення кількості ступенів вільності потоку. Якщо поверхня має відносно невеликий ухил і складена тонким матеріалом, потік починає перерозподіляти його, утворюючи мікробари, утворення яких - окрема задача. Механізм такого процесу (за роботою [23]) показано на рис. 5б. Утворюється ціла мережа мікробарів з характерним розташуванням, яка закріплює порушену симетрію поверхні. Такі мікробари з прогинами між ними стають елементами апаратурної реалізації флювіальної інформаційної машини. Потік розбивається на мікробарами на відокремлені потоки, що біфуркують і зливаються. У кожній області злиття виникає турбулентний режим, який переробляє сигнали, що містяться в динамічних режимах окремих потоків. Така мережа обробляє просторову інформацію, створюючи *позиційну інформацію* (відбувається розподілення функцій у просторі). Вона складається з множини процесорів, які працюють з *булевими даними*. Ці дані вони отримують від своїх сусідів (рис. 5) [24]. Стан таких елементів представлений також булевими функціями. Елемент буквально "розраховує" свій вихід. Відносно подібних мереж Г. Ніколіс та І. Пригожин задаються питанням, чи може така мережа породити глобальний "розрахунковий" режим як функцію часу з новими властивостями? Відповідь позитивна. Вона базується на існуванні в дисипативній динамічній системі, яка є основою такої мережі, атракторів. Атрактор, який відповідає режиму самоорганізації, наділяє систему певними колективними властивостями, які виходять за межі властивостей окремих складових. Така інформація передбачає наявність певної *граматики*, яка лежить в основі мережі. В цьому випадку граматика – це варіабельність символів-станів.

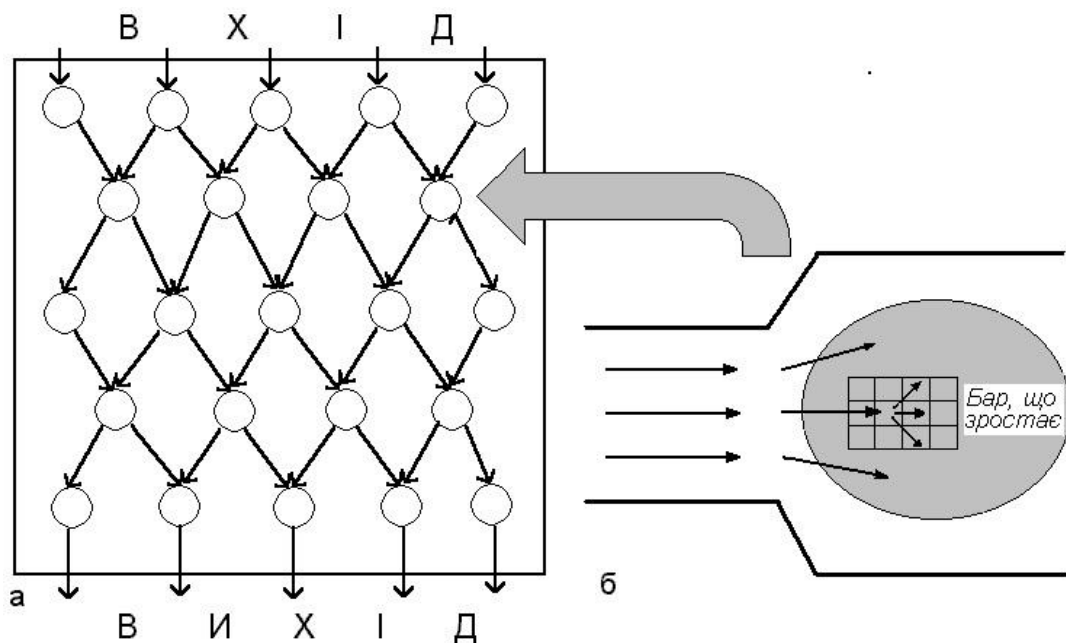


Рис. 5. Ряд процесорів, кожній з яких обробляє дані, які отримує локально від сусідів (а) [24], і схема росту бару (б) [23].

Таке відбувається на плоских положистих поверхнях. При збільшенні ухилу або розходу ми матимемо виникнення спочатку системи субпаралельних каналів, а потім деревоподібної мережі. Така морфоструктура також є апаратною реалізацією флювіальної інформаційної машини. Вона характеризується наявністю скейлінгу, тобто є самоподібною. На сьогодні існує дуже багато публікацій відносно особливостей таких структур. Але нас вони цікавлять з точки зору їх функціонування в режимі інформаційної машини. Важливими для нас є розробки У. Гренандера [20] в області образів дифузних мереж у площині. Цей автор розробив концепцію абстрактних образів і їх рухів, в тому числі зростання і руйнування. Пізніше багато авторів приймали участь у створенні сучасних уявлень утворення флювіальних мереж.

Аналіз мережі почну з розгляду одного каналу. Будемо виходити з того, що морфологія каналу відбиває динаміку потоку, який його утворює. А це означає, що до нього можна приміняти такі способи відображення, як фазові портрети (відображення Пуанкаре). На рис. 6 подані часткові результати аналізу траєкторії такого каналу (виділений на схемі), патерн якого взято в роботі [25]. Наведені графік відносного прирощення поперечної координати (ця величина нормована на довжину відрізка повздовжнього зміщення), фазові портрети, диференціал (показано четвертий диференціал, який дозволяє чітко виділити

“ламінарні” і хаотичні відрізки). Ми бачимо складний характер фазового портрету, який охоплює обмежену частину фазового простору. Це свідчить про наявність атратора, можливо навіть дивного атратора. А як було показано Дж. Николисом [3], наявність дивного атратора свідчить про породження системою нової інформації. Диференціали дозволяють проаналізувати характер динаміки (сталі і несталі ділянки). Тут же показана апроксимація планової конфігурації каналу поліномом 13-го ступеню (у даному випадку він дав найбільшу кореляцію), а також фазові портрети залишку (у прямокутних і полярних координатах). Така обробка (тут можливо кілька послідовних стадій апроксимації) дозволяє виявити наявність в динаміці сталих граничних циклів, якщо такі мають місце. При аналізі даного каналу такий атратор був виявлений. Наявність граничного циклу означає те, що динаміка містить відібраний регулярний коливальний режим, який жорстко регулюється.

Тепер розглянемо систему каналів (обмеженість статті не дозволяє навести всі приклади у вигляді рисунків). Нас цікавить еволюція такої системи. Витоки каналів можуть мати цілком випадкове розташування, тобто відстань між ними може варіювати у широких межах. Але коли потоки в каналах починають “відчувати” сусідів, починається взаємодія між ними. Частота каналів зумовлюється таким фактором, як спроможність формуючого потоку підтри-

мувати енергетичний баланс (з врахуванням переносу седиментів) в каналах після їх виникнення. Якщо поверхня є ізотропною, межі мінливості відстаней між каналами врешті решт мають зменшитись, як і кутове неузгодження, що ми і маємо. Таким чином, загальний потік буквально відслідковує ситуацію, "намацуючи" такі варіанти просторової організації, які забезпечують

оптимальність течії і переносу частинок ґрунту при найменших витратах енергії, в тому числі на відновлення транзитного каналу. Поведінка кожного потоку є значно більш детермінованою як внутрішньою динамікою, так і зовнішніми умовами. Але як тільки потоки починають взаємодіяти, в динаміці мають з'явитися нові складові, які суттєво зменшують детермінованість.

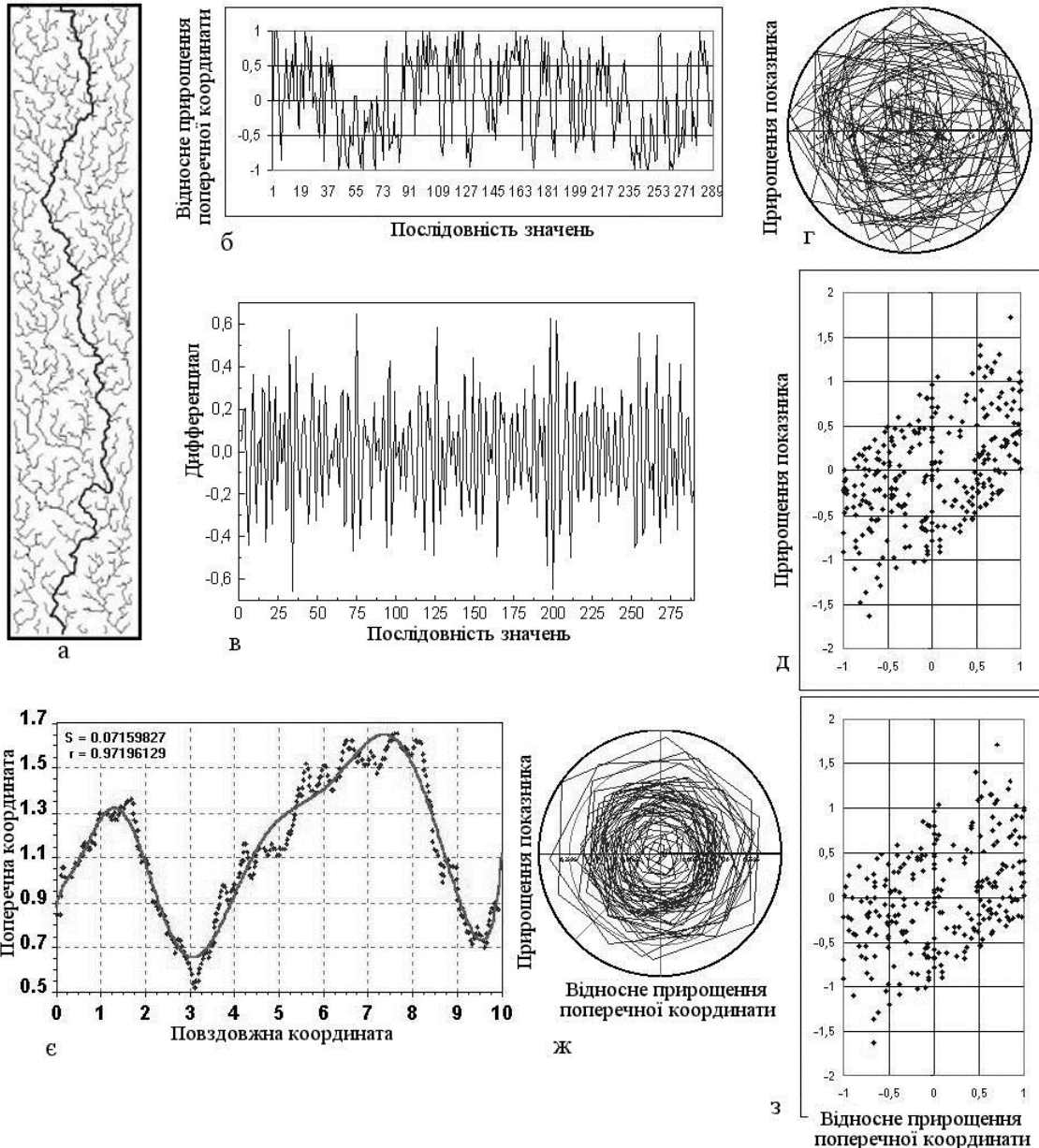


Рис. 6. Результати аналізу конфігурації мікросула в плані (розміри ділянки складають приблизно 3 x 0,5 м): а – патерн (з роботи [25]) з виділеним руслом; б – зміна відносних прирощень поперечної координати русла вниз по схилу; в – четвертий диференціал (ділянки з великою амплітудою коливальності відповідають несталим режимам); г – фазовий портрет відносного зміщення поперечної координати у полярних координатах; д – фазовий портрет відносного зміщення поперечної координати у прямокутних координатах; е – апроксимація конфігурації поліномом 13-го ступеню (безперервна лінія); ж – фазовий портрет залишку у полярних координатах; з – фазовий портрет залишку у прямокутних координатах.

А як формується флювіальна мережа всього басейну? Обробка патернів ерозійних мереж, отриманих в лотках [26], дозволила виявити дуже цікаві закономірності. На рис. 7 показано зміну інформаційної ентропії орієнтації водотоків перших трьох порядків і сумарної ентропії для тринадцяти генерацій. По-перше, ми бачимо хвилястість і стрибкоподібність кривих. По-друге, сумарна ентропія демонструє нарощення несталості (збільшення амплітуди коливань), починаючи з певного стану, коли мережа досягає, ма-

буть, критичної складності. Причому ці коливання розвиваються на фоні добре вираженого логістичного процесу. До цього слід додати, що кількість водотоків різних порядків демонструє спочатку східчастий ріст, а потім зменшується, що свідчить про прагнення до спрощення структури і, відповідно, зменшення витрат енергії на відтворення її елементів. Але така динаміка має місце тільки у незмінному середовищі. Мінливе середовище вимагає підтримання складності на певному рівні.

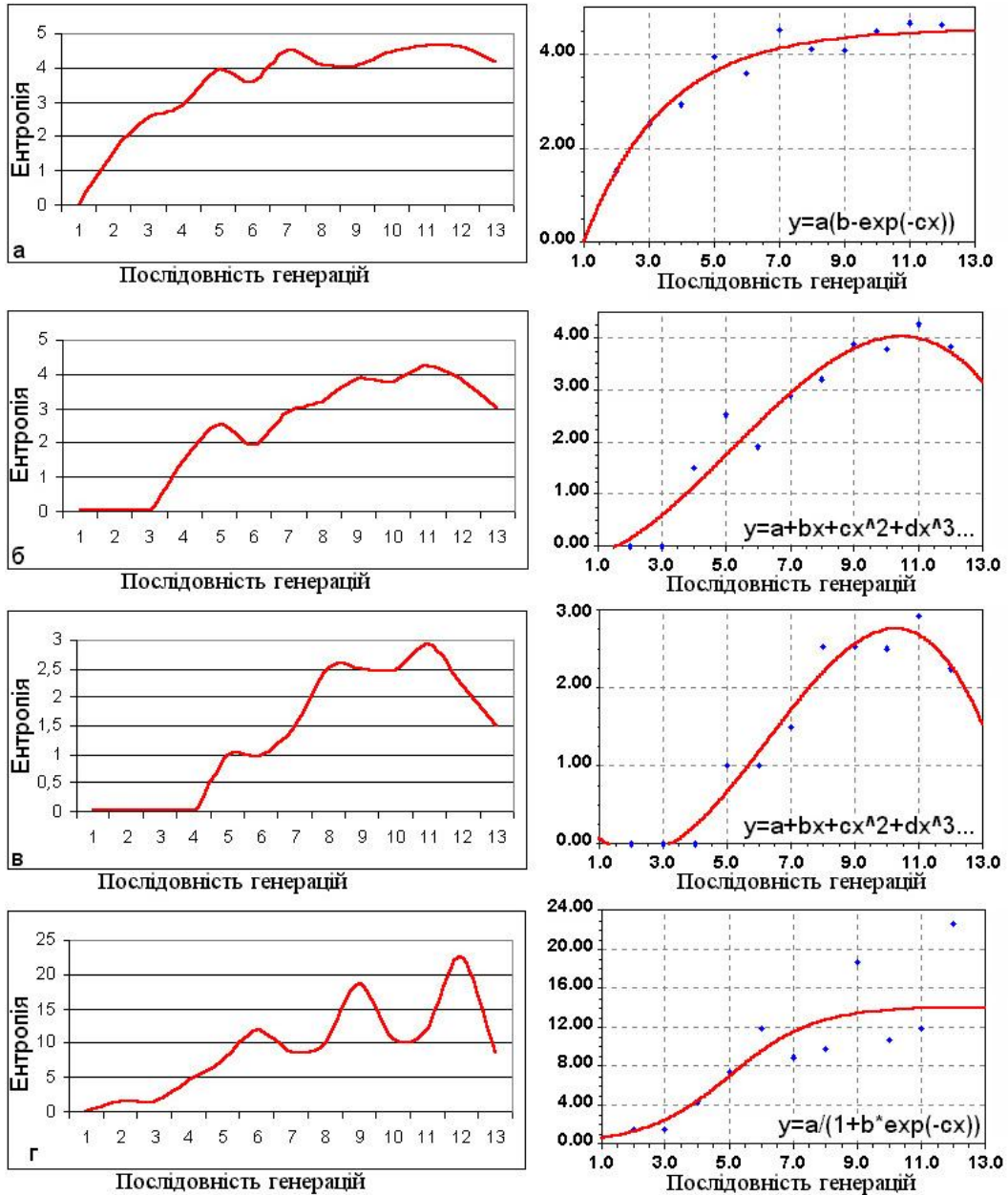


Рис. 7. Зміна ентропії орієнтації водотоків 1-го (а), 2-го (б), 3-го (в) порядків в ході розвитку флювіальної мережі (по осі x дається номер патерну по порядку) і (б) – сума ентропії трьох порядків. Справа – апроксимаційні функції та їх коефіцієнти.

Ще одне цікаве питання – просування денудаційного фронту. Такий фронт може бути сталим і несталим. Його різновидом є ерозійні уступи в руслах водотоків, які поступово просуваються вгору по руслу. Такі фронтальні утворення різних масштабів в природі зустрічаються всюди. І в цьому випадку ми можемо говорити про існування інформаційної машини. Сталий фронт не переробляє інформацію, але якщо такий фронт втрачає сталість і знаходиться у стані самоорганізації критичності, він починає функціонувати в режимі інформаційної машини. Про це свідчать результати наших досліджень. Особливо цікавими в цьому плані є яри. Для того, щоб мав місце процес просування яру в напрямку вододілу, потрібен механізм визначення напрямку руху. Ми приходимо до висновку, що ріст структури визначається *відповідністю* геометрії самої структури (внутрішньої моделі) і структури того середовища ("субстрату"), в якому відбувається процес. Судячи з усього, вони повинні допускати *конформні відображення*. Ось тут і виникає необхідність в інформаційній машині. Таке досягається, якщо схил опиняється в критичному режимі, зо самоорганізується. Морфологія вершини яру є такою, що дозволяє постійно відтворювати потенціал при виникненні надкритичного поверхневого стоку. Тут справді виникає ситуація, яка відповідає уявленню про самоорганізацію критичності. Розглянемо деякі особливості діючого механізму.

Рівень біотизованих геосистем.

Утворюючою ланкою тут є біота, яка демонструє складну ієрархічну організацію. Спочатку це конкретні організми із різною за складністю структурою і поведінкою. Вони, в свою чергу, формують популяції, а популяції – спектр особин одного виду з різними мутаціями. Кожна особина вирішує проблему виживання, так би мовити, локально і безпосередньо. Чудовим прикладом дії інформаційної машини на цьому рівні є рух равлика [12]. На рівні популяції проблема виживання виду вирішується статистично, шляхом внутрішньовидової конкуренції. Сама популяція також демонструє властивості інформаційної машини, бо є спектром мутантів. На ценотичному рівні популяції утворюють складні сполучення, в першу чергу на основі трофічних зв'язків, формування яких детермінується кількома обмежувачими принципами. Формою організації тут є екосистеми, які складають основу біотизованих геосистем в тому плані,

що саме вони визначають, при певних зовнішніх обмеженнях, склад, швидкість і замкненість круговороту біогенів. Серед величезної кількості можливих режимів відбираються найбільш ефективні варіанти. Нарешті, близькі за структурою і режимами функціонування біогеоценози групуються у біогеоми. Вищим рівнем організації є біосфера Землі.

Поява рослинного покриву суттєво змінює поверхню. Зникає мікрорельєф, але з'являється нова форма її патернізації, яка пов'язана з біорізноманіттям і формуванням структури рослинного покриву. Структура рослинного покриву, з одного боку, відбиває неоднорідність місцезростань, інколи реагуючи навіть на незначні зміни, з іншого боку, містить сліди внутрішньої динаміки – процеси агрегації, хвилі хаосу і т. і. Внутрішня динаміка повністю визначається процесами взаємодії в системі "ґрунт – фітоценоз - зооценоз". Дуже цікаві приклади формування структури рослинного покриву наведені в роботі Е. Райса [27], а також в роботі [28] і в багатьох інших. Відомі спроби моделювання динаміки просторової структури, яка є результатом міжвидової конкуренції [29, 30].

Проблема пошуку механізмів дії інформаційної машини у біотизованих геосистемах наштовхується на проблему значно більшої складності функціонування таких геосистем і малу кількість емпіричних даних. Тут дія інформаційних машин виражена ще більш яскраво. По-перше, вона присутня вже на рівні популяцій видів у вигляді мутагенезу. Мутації як випадкові зміни на генетичному рівні дозволяють популяціям постійно відслідковувати *екоситуацію* і реагувати на її зміни шляхом зміщення репродукції у бік того чи іншого мутанту. Інколи надкритичні зміни екоситуації можуть привести до дивергенції виду і утворення двох близьких видів з подальшим їх розходженням. Ми приходимо до висновку, що на біотичному рівні організації інформаційний обмін стає головним видом діяльності, перетворюючись з засобу у мету.

На рівні біотизованих геосистем інформаційні машини також мають місце. Так, за гіпотезою А.І. Морозова, ґрунти, які є складовою біогеоценозів, слід розглядати як «поліси» грибів. Саме останні значною мірою визначають видову структуру термінальних станів біогеоценозів, тобто виконують роль своєрідних «ДНК», які керують діяльністю організмів певного функціона-

льного рівня [31]. Формування лужного дерну, коли в ньому сусідять стержневі коріння кульбаби і суцільне переплетення тонких коренів тимофіївки, а у це вплетені довгі коріння осоту і різні проміжні форми коренів ромашки і багатьох видів лужних трав, все це нагадує нейронну мережу. Хаос коренів не є випадковим, він певною мірою детермінується концентрацією живильних речовин в ґрунті: якщо додати у ґрунт азотні добрива, почне розростатися тимофіївка, при збільшенні концентрації хлористого калію зникає жовтець і т. д. Виходить, що видова структура трав'яного покриву є символьним відображенням геохімічної ситуації в ґрунтах. Це дуже схоже на приклад, наведений в роботі [24]. Г. Ніколіс та І. Пригожин розбирають дію системи хімічних реакцій (рис. 8), які ведуть до синтезу компонентів з певними концентраціями (X_i). Іде фіксація значень пред-

ставницьких перемінних у часі. Припустимо, що така система може генерувати незатухаючі коливання, а при досягненні певною речовиною критичної концентрації (якщо відповідна перемінна перетинає певний рівень L_i з позитивним нахилом), вона швидко осаджується на стрічці. Картина, яку ми побачимо, є відбитком різних порогів, що перетинаються різними концентраціями хімічних елементів і їх сполучень. В такому разі у біотизованих геосистемах рослини різних видів, які формують структуру фітоценозу, можна розглядати як відбиток, символ ситуації, що розвивалася на протязі певного часу у відповідному оточенні (місцезростанні). Оскільки між рослинами різних видів в структурі фітоценозу є статистичні зв'язки, ми маємо справжній текст, який, однак, є двомірним. Він має свою граматику і синтаксис.

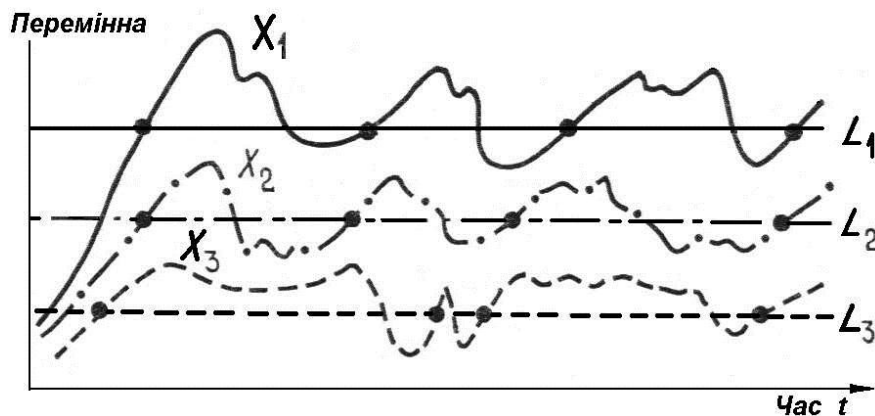


Рис.8. Генерація послідовності символів динамічною системою відбувається тоді, коли зростаючі перемінні X_1, X_2, \dots пересікають рівні L_1, L_2, \dots відповідно.

Але на цьому прояв "інформаційності" біотизованої геосистеми не закінчується. Функціональну структуру такої геосистеми також складають коливальні режими різної частоти. Отже, і тут є осцилятори, пов'язані між собою, які, як у випадку фігур Ліссажу, здійснюють відбір інформації шляхом розходження частот. Вони просуваються у просторі біогеоценозу, обслідуючи його стан. Там, де сталі режими, основу яких складають низькочастотні коливання, з якихось причин порушуються (до цього може привести, наприклад, втома ґрунту), високочастотні режими починають проникати у зони їх розповсюдження, захоплюючи простір, що веде до зміни структури. Так виникає комплементарна система, яка відзначається найбільшою сталістю.

Рівень антропізованих геосистем.
Людські угруповання різних розмірів також

демонструють спроможність до пошуку в інформаційному полі. Структура суспільства, яка складається з багатьох етносів з різними культурними традиціями, є ні чим іншим, як глобальною соціальною інформаційною машиною. За допомогою цього різноманіття світове суспільство постійно обстежує свій внутрішній простір станів і намагається віднайти оптимальний варіант взаємодії з природним середовищем. Зменшення різноманіття, як показав, наприклад, І. Матутинович [32], може привести до втрати сталості і деградації. Все це веде до того, що складність антропізованого геопростору суттєво перебільшує складність інших геосфер. Розглянемо деякі цікаві приклади.

Сама людина як істота, діяльність якої складає основу антропізованих геосистем, суттєво відрізняється від всіх інших скла-

дових спроможністю заздалегідь ставити мету і підкоряти їй свої дії, що неможливо зробити без певної інформації. Отже, видобуток інформації стає ведучою складовою буття людини. Людство, завдяки своїй життєдіяльності, утворює складне середовище і чим більше антропосфера ставала єдиним цілим, тим складнішим ставало це середовище. Антропосфера, простір якої утворюється дією антропізованих геосистем - це не тільки потоки речовини і енергії, які задіяні у виробничій сфері, але і наукові, політичні інститути, мистецтво, освіта і т. і., тобто це – *загальний потік буття*. Такий потік в цілому спочатку є *“білим” і ламінарним*, але поступово в його структурі проявляються струми різних кольорів, і він стає *“кольоровим” і турбулентним*. Із зростанням складності суспільного життя турбулентність цього багатомірного потоку стає все більш вираженою. Ця турбулентність, завдяки проходженню через критичні біфуркаційні точки, породжує все більше різноманіття, яке відслідковує складну багатомірну морфологію антропізованого геопростору з метою опанування середовищами буття із все більшою насиченістю інформацією. Різнопланові хвилі проявів нового буття блукають у соціальному просторі, відшукуючи такі стани людських угруповань, які спроможні резонувати на інновації. І знову можна говорити про інформаційну розмірність, бо інновації виникають у групах людей і, розповсюджуючись у вигляді інформаційних хвиль, захоплюються іншими спільнотами різних масштабів.

Особливе значення в цьому процесі відіграють міста, які є звуженими “каналами” протікання цього потоку. Підвищена концентрація елементів апаратурної реалізації тих чи інших функцій притягує відповідні “струми” потоку суспільного буття до того чи іншого міста. Така *локалізація функцій* як раз і пов’язана з дією інформаційної машини, яка *прихована* в динаміці потоку суспільного життя. Міста, завдяки внутрішній активності, розкладають потік на складові, відбираючи інформацію. Можна побудувати уявлення про сукупність міст на певній території як мережу каналів, що конкурують за складові цього потоку. Але і само місто, якщо воно досягає певного рівню складності, починає захоплювати функції і нарощуючи свій ранг. Деякі з них стають центрами регіонів як мережі міст з певною апертурою, яка сканує стан антропізованого геопростору. Так виникають спочатку регіони, а потім вже і вони утворюють структуру антропосфери.

Місто - це *урбогеосистема*, як і будь-яка інша дисипативна система, постійно відроджується, знаходиться в режимі становлення, намагаючись віднайти оптимальні структурно-функціональні співвідношення всередині себе у визначених умовах (граничних умовах) зовнішнього середовища. На відміну від геосистем мінерального і біотизованого рівнів організації, середовище урбогеосистем, включає все різноманіття діяльності суспільства, тобто економічну, політичну, мистецьку навчальну і т. п. Мова іде про так званий соціокультурний ландшафт – відображення стану міста у багатомірному просторі станів соціуму. Виникнення міста спочатку детермінується природними умовами, далі воно починає входити у конкурентні відносини з іншими населеними пунктами за функції: набір функцій визначає ранг міста. Місто буквально всмоктує в себе потік буття, стискаючи і прискорюючи його, що вимагає його постійної перебудови. Чим більш функціональним є місто, тим складнішими є внутрішні режими його функціонування.

Місто - це свого роду лазер. «Атомами» у ньому є індивіди. Сама інфраструктура міста – це кристал, який вміщує активні атоми-індивіди. В результаті процесу накачки (в першу чергу фінансової та інноваційної) вони збуджуються, їх ділова активність зростає. Такі атоми-індивіди починають випускати цуги хвиль ділової активності, які є сигналами (інформація). У функціональному просторі міста такі цуги хвиль ділової активності можуть наштовхнутись на інших активних індивідів, що веде до посилення сигналу (збільшення амплітуди), тобто інформація використовується для його посилення. Оскільки окремі атоми-індивіди випускають хвилі активності незалежно один від одного, і ці хвилі можуть посилюватись іншими активними індивідами, виникає суперпозиція некорельованих посиленних цугів хвиль, що веде до виникнення нерегулярної активності. Однак при подальшому рості амплітуди сигналу, активні індивіди починають проявляти когерентну активність, крім того, само поле активності стає когерентним, тобто воно не складається вже з окремих некорельованих цугів хвиль активності і перетворюється в єдиний коливальний режим. Тут когерентна ділова активність, що виникає, служить параметром порядку, який змушує індивідів демонструвати когерентну поведінку. Слід звернути увагу на той факт, що ситуація розгортається в результаті прояву зворотних зв’язків: пара-

метр порядку підкорює собі індивідів, однак сам він є породженням їх спільної дії.

Слід мати на увазі, що, на відміну від атомів лазера, індивіди реалізують діяльність у різних напрямках, тобто тут ми повинні враховувати ступені вільності, які пов'язані з різними галузевими і професійними сферами. Це суттєво ускладнює опис системи: простір станів має значно більшу розмірність. Однак стає ясным, що ті індивіди, які проявили свою ділову активність в деякій галузевій сфері, стають свого роду *морфогенами*, які визначають майбутнє розвитку міста в тій чи іншій області *простору господарської діяльності*. Ми приходимо до висновку, що інформація грає ведучу роль у визначенні галузевого спектру міста в цілому і того атрактору (буттєвої ніші), до якого, врешті решт, місто притягується. Місто стає інформаційною машиною, яка здійснює відбір. Однак важливу роль грає зовнішнє середовище – весь складний світовий (або, як мінімум, регіональний) культурно-виробничий простір. Питання стоїть про значимість стану, який може бути породжений динамікою такої системи. Можна стверджувати, що цей стан оцінюється загальним контекстом. Така оцінка проявляється у напруженості геоситуації.

Цікаво відмітити, що розростаючись (а такий ріст є просуванням міського фронту), міста поступово втрачають свою початкову ізометричність. Досягши певного розміру, місто починає демонструвати внутрішню активність: ділова активність породжує імпульси, які розповсюджуються всередині міста, досягаючи його периферії, що веде до обстеження його кордонів. Якщо така активність збуджує периферійні центри активності (вузли), місто росте у цьому напрямку. Такий ріст може відбуватися тільки при позитивному балансі енергії. Але якщо баланс енергії ділової активності міста починає перебільшувати певну критичну межу, воно стає центром регіону, бо саме його силове поле активності організує ділову активність в менших за розміром населених пунктах. Поступово весь регіон стає інформаційною машиною, що відслідковує геоситуацію і робить вибір подальшого просування у культурно-виробничому просторі. І тут ми будемо спостерігати справжню цефалізацію в формі штучних нейронних мереж, поєднаних з Інтернетом. Людина скидає функцію регулярної обробки інформації штучному інтелекту.

Завершення. Закінчуючи статтю, хочу звернути увагу на наступне: **сучасне – це**

фронт між минулим і майбутнім. Цей фронт безперервно просувається так, що в деякі періоди він є сталим, лінійним, а в інші – втрачає сталість, що веде до розгортання складних процесів, в ході котрих і визначається напрямком подальшого руху. Інколи він навіть вироджується, тобто на протязі певного терміну нічого нового не відбувається, а, отже час начебто зупиняється. Загострення ж такого фронту означає, що треба долати ентропійний бар'єр. Інколи він невеликий, з положим схилом, інколи – значний, що вимагає накопичення ентропії всередині систем. Ситуація при цьому загострюється і стає напруженою. Вона вимагає суттєвої перебудови структур, чому передують "лавини" руйнації. Прикладом такого загострення геоситуації є сучасна глобальна екологічна криза. Необхідність вирішення цієї проблеми активізує пошук нових варіантів не тільки виробництва, але і всього соціального устрою. Якщо такий фронт втрачає сталість у глобальному вимірі, ми маємо у геопросторі великі катастрофи вимирання, як це неодноразово мало місце при становленні біосфери. На соціальному рівні людство неодноразово стикалося з руйнацією великих імперій і швидкою перебудовою соціально-політичного ландшафту. Так працює еволюційний механізм в концепції самоорганізації критичності. Частина світу постійно знаходиться у такому стані, тобто є активною. Задача суспільства – зробити такі критичні ситуації максимально передбачуваними. Саме цьому служить *наука як форма інформаційної машини* суспільства. Географія як її галузь не є виключенням. Саме це все частіше змушує географів звертатися до проблем, пов'язаних з інформаційним аспектом. Свого часу поняття про ГІС було поширено на реальні геосистеми і показано, що вони можуть розглядатися як П-ГІС – природні геоінформаційні системи [33]. Їх комп'ютерні аналоги – К-ГІС - можуть виникнути тільки у разі вирішення проблеми хаотичних процесів. Але коли це станеться, географія може стати прогнозуючою дисципліною.

Література

1. Марр Д. Зрение. Информационный подход к изучению представления и обработки зрительных образов: Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1987. – 400 с.
2. Бриллюэн Л. Наука и теория информации. М.: Гос. изд-во физ.-мат. лит-ры. – 1960. – 392 с.
3. Николис Дж. Динамика иерархических систем. Эволюционное представление. Пер. с англ. - М.: Мир, 1989. - 488 с.

4. Хакен Г. Информация и самоорганизация. Макроскопический подход к сложным системам. Пер. с англ. – М.: Мир, 1991. – 240 с.
5. Хорстемке В., Лефевр Р. Индуцированные шумом переходы. Теория и применение в физике, химии и биологии. Пер. с англ. – М.: Мир, 1987. – 400 с.
6. Розен Р. Принцип оптимальности в биологии. Пер. с англ. – М.: Мир, 1969. – 215 с.
7. Шустер Г. Детерминированный хаос. Введение. Пер. с англ. – М.: Мир, 1988. – 240 с.
8. Волькенштейн М.В. Энтропия и информация. – М.: Наука, 1986. – 192 с.
9. Per Bak, Maya Paczusi. Complexity, Contingency, and Criticality // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. – 1995. Vol. 92, July. – Pp. 6689 – 6696.
10. Kim Sneppen, Per Bak, Henrik Flyvbjerg, and Mogens H. Jensen. Evolution as a Self-Organized Critical Phenomenon // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. Vol. 92, pp. 5209 – 5213, May, 1995.
11. Голицын Г.А., Петров В.М. Информация – поведение – творчество. – М.: Наука, 1991. – 224 с.
12. Lewis J.E. & Kristan Jr W.B. A neuronal network for computing population vectors in the leech // NATURE | VOL. 391| 1 January 1998, pp. 76 – 79.
13. Пуанкаре А. О науке. Пер. с франц. – М.: Наука, 1990. – 560 с.
14. Гренандер У. Лекции по теории образов. Кн. 3. Регулярные структуры. Пер. с англ. – М.: Мир, 1983. – 430 с.
15. Фокс Р. Энергия и эволюция жизни на Земле. Пер. с англ. – М.: Мир, 1992. – 216 с.
16. Седов Е.А. Взаимосвязь энергии, информации и энтропии в процессах управления и самоорганизации. / Информация и управление. Философско-методологические аспекты. – М.: Наука, 1985. – С. 169 – 193.
17. Джордж Ф. Основы кибернетики. Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1984. – 272 с.
18. Рубин А.Б. Биофизика: Учеб. Для биол. Спец. Вызов. Кн. 1. Теоретическая биофизика. – М.: Высш. Шк., 1987. – 319 с.
19. Sapozhnikov V.B., Murray A.B., Paola C., Foufoula-Georgiou E. Validation of braided-stream models. Spatial state-space plots, self-affine scaling, and island shapes // Water Resources Research. – 1998. Vol. 34, NO 9. – Pp. 2353-2364.
20. Гренандер У. Лекции по теории образов. Книга 1-я. Синтез образов. Пер. с англ. – М.: Мир, 1979. – 382 с.
21. Гренандер У. Лекции по теории образов. Книга 2-я. Анализ образов. Пер. с англ. – М.: Мир, 1981. – 446 с.
22. Ковальов А.П. Парагенез, секторность и развитие эрозионных систем на горных склонах: теоретические представления // Геоморфология, 1991, № 4. – С. 13 – 20.
23. Sapozhnikov V.B., Foufoula-Georgiou E. Do the current landscape evolution models show self-organized criticality? // Water Resources Research. – 1998. Vol. 32, NO. 4. – P. 1109 – 1112.
24. Николис Г., Пригожин И. Познавание сложного. Введение. Пер. с англ. – М.: Мир, 1990 – 344 с.
25. Rómtkens Mat J.M., Helming K., Prasad S.M. Soil Erosion on Upland Areas under Different Hydrologic Regimes and Soil Surface Condition / 16th World Congress of Soil Science, Montpellier, 1998, (CD).
26. Schumm S.A., Mosley M.P., Weaver W.E. Experimental fluvial geomorphology. A Wiley-interscience Publication John & Sons – New York Chichester Brisbane Toronto Singapore – 413 p.
27. Райс Э. Аллелопатия. Пер. с англ. – М.: Мир, 1978. – 392 с.
28. Стоянова Т.А., Гічка М.М., Третьяков О.В., Ковальов О.П. Деякі особливості мікроландшафтів, утворюваних динамікою трав'яного ярусу, як відображення їх функціонування / Проблеми ландшафтного різноманіття України. Збірник наукових праць. Київ: 2000. – С. 311 – 315.
29. Tilman D., Lehman C., May R., Nowak M. Species fragmentation or area loss? // NATURE. – 1996. – VOL. 382 – 18 July. – Pp. 215 – 216.
30. Molofsky J. Population dynamics and pattern formation in theoretical populations // Ecology, 75(1). – 1994. – Pp.30-39.
31. Морозов А.И. О природе почв / Информационные проблемы изучения биосферы. – М.: Наука, 1988. – С. 201-230.
32. Matutinovic I. The aspects and the role of diversity in socioeconomic systems: an evolutionary perspective // Ecological Economics. – 2001. – V. 39. – Pp. 239-256.
33. Богомолов В.В., Ковальов О.П., Сидоров О.С. Конструктивна географія і ГІС: новий погляд на проблему / Ландшафт як інтегруюча концепція ХХ сторіччя. Збірник наукових праць. – Київ, 1999. – С. 327 – 332.

Аннотация. А. П. Ковальов Геосистемы как информационные машины. В статье даются общие представления об информационном аспекте в географии и информационной машине как составляющей геосистем. Показано, что понятие об информации было введено А. Пуанкаре в виде так называемых разрывов Пуанкаре. Информация рассматривается как закрепление случайного выбора. Приводятся примеры проявления действия информационной машины в геосистемах разных уровней организации – косных (флювиальный процесс), биотизированных и антрополизированных.

Ключевые слова: геосистемы, геоінформаційні технології.

Abstract. A. P. Kovalyov Geosystems as Informational Machines. The general notions of informational aspect in Geography and informational machine as the geosystem's components are presented. It is shown that the notion of information was introduced by H. Poincare as the so-called Poincare's break. The information is viewed as the random selection fixation. There are some examples of the of informational machine operation in geosystems of different levels: sluggish (fluvial process), biotized and anthropotized ones.

Key words: geosystems, geoinformation technologies.

Поступила в редакцию 05.04.2004 г.