

РЕГРЕСІЙНИЙ АНАЛІЗ ЗАЛЕЖНОСТІ МІЖ ВЕРТИКАЛЬНИМ РОЗЧЛЕНУВАННЯМ РЕЛЬЄФУ, МОРФОСТРУКТУРАМИ ТА СУЧАСНИМИ РУХАМИ ЗЕМНОЇ ПОВЕРХНІ

© Сидоренко В., Куліковська О., 2009

Створено регресійні моделі зв'язку між геологічною будовою зони Криворізько-Кременчуцького глибинного розлому та сучасними вертикальними рухами земної поверхні

The regressive models of communication are created between the geological structure of zone of the Krivorozhsko- Kremenchug deep breaking a secret and modern vertical movements of earthly surface

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями

Характерні особливості геологічної будови зони Криворізько-Кременчуцького глибинного розлому, порівняно достатнє геолого-геофізичне та топографо-геодезичне її вивчення дозволили рахувати цей район найсприятливішим для встановлення залежності між сучасними рухами земної поверхні та порушеннями в монолітності масивів докембрійських гірських порід на території Криворізького басейну. Актуальність досліджень, що проводилися авторами, полягає в поглибленні та подальшій розробці комплексної методики вивчення сучасних вертикальних рухів земної поверхні, що дозволить встановити не тільки закономірності й розвиток сучасних геодинамічних процесів в просторі та часі, а й виявити зв'язок між геологічними структурами, тектонічними рухами, формами рельєфу денної поверхні на території центральної зони Криворізько-Кременчуцького глибинного розлому.

Аналіз досліджень та публікацій

Моделювання тектонічних рухів за багаторічними спостереженнями має велике не тільки теоретичне, але і практичне значення. Відомо, що зони глибинних довгоживучих розломів і система оперяючих їх тріщин є такими структурами, які формувалися протягом цілих геологічних епох і вивченню яких надається велика увага. На жаль, такі зони в умовах закритого району часто важко встановити, виявити і тим більше довести тривалість їх існування. Авторами підтримується і розвивається концепція нерозривного зв'язку між процесами, які відбуваються в надрах землі та на її поверхні, складна взаємодія та взаємообумовленість яких спричинила формування рельєфу сучасної поверхні [1-3].

Виклад матеріалу і результати

У багатьох природничо-наукових галузях статистичні методи були і залишаються важливою складовою частиною процедури обробки результатів досліджень та створення відповідних моделей. Сучасні програми для статистичної обробки даних дозволяють застосовувати нові складні методи аналізу, де раніше такі дослідження були надзвичайно трудомісткими і, практично не проводилися. Порівняльний огляд програмних продуктів показав, що найвищу сумарну оцінку одержав програмний продукт STATISTICA [4]. На перше місце STATISTICA вийшла в таких категоріях: призначений для користувача інтерфейс; основні статистики; графіка тощо. Також можна відзначити і потужну, але просту у використуванні мову програмування SVB, що є розвитком

мови Microsoft Visual Basic, яка впливає на область аналізу даних, і широкі можливості унікальних процедур лінійних і нелінійних моделей. Графіка STATISTICA традиційно признається найточнішою та зручною у використуванні. Тому для обробки експериментальних даних, спрямованих на вирішення питання взаємовідношення сучасних тектонічних рухів з розвитком окремих морфоструктур виконано кореляційний аналіз на основі застосування модулів STATISTICA між одержаними швидкостями сучасних вертикальних рухів, що були визначені за вертикальним та горизонтальним розчленуваннями рельєфу та 1) відміткою поверхні кристалічного фундаменту; 2) відміткою денної поверхні; 3) потужністю осадового чохла. Окрім цього, встановлено коефіцієнти кореляції і між самими досліджуваними факторами впливу. Коефіцієнти парної та множинної кореляції обчислювалися за допомогою стандартного модуля *Multiple Regression* (множинна регресія) STATISTICA.

Характеристики морфоструктурних блоків наведено в таблиці 1.

Таблиця 1.

Характеристика морфоструктурних блоків.

Характеристика блоку		Назва блоку					
		Боков'янський	Криворізький	Олександрійська синформна структура	Казанківський	Південно- Саксаганський	Північно- Саксаганський
Швидкості СВРЗП, які визначені за вертикальним розчленуванням рельєфу, мм/рік	мінімальна	-1,7	-6,1	2,7	-0,1	0,3	-4,3
	максимальна	12,8	12,9	11,0	11,9	11,3	9,9
	середня	3,4	3,0	4,2	4,4	3,8	3,9
Швидкості СВРЗП, які визначені за вертикальним розчленуванням рельєфу, мм/рік	мінімальна	2,1	0	2,4	1,7	0,3	1,6
	максимальна	9,9	8,3	9,5	9,0	8,0	7,6
	середня	4,8	4,3	5,7	5,3	4,2	4,5
Відмітки поверхні кристалічного фундаменту, м	мінімальна	25,7	-8,6	11,6	-31,3	-49,0	45,6
	максимальна	147,2	106,6	149,6	102,0	85,5	146,2
	середня	91,3	66,2	100,5	30,4	19,5	105,6
Відмітки денної поверхні, м	мінімальна	66,0	0	80,0	50,0	34,0	65,0
	максимальна	175,0	144,0	175,0	137,0	132,0	185,0
	середня	119,0	94,2	127,0	92,8	90,9	140,5
Потужність осадового чохла, м	мінімальна	0	0	0,1	7,5	42,0	0,1
	максимальна	60,0	85,6	151,6	128,3	149,0	80,2
	середня	28,0	28,0	27,2	59,6	71,9	32,5

З метою попереднього аналізу візуально оцінимо наявні дані, побудувавши декілька діаграм розсіяння, що дало можливість виділити всі відомі досліджувані параметри в матричній діаграмі розсіяння, які належать до певної групи, для того, щоб визначити, як відповідні фактори впливають на зв'язки між іншими змінними факторами в тому ж наборі даних (рис. 1). Побудовані 2М діаграми розсіяння відтворили залежність між двома змінними параметрами (наприклад, швидкістю СВРЗП, що визначена за вертикальним розчленуванням рельєфу (1) та відміткою поверхні кристалічного фундаменту (3) тощо). Точки даних зображуються точками в двовимірному просторі, де вісі

відповідають змінним. Якщо дві змінні сильно зв'язано, то безліч точок даних приймає певну форму (наприклад, прямої лінії або кривої). Якщо ж змінні не зв'язані, то точки утворюють «хмару».

Регресійний аналіз виконувався у модулі *Analysis - Startup Panel*. Відомо, що коефіцієнт кореляції Пірсона (R) є мірою лінійної залежності двох змінних. Якщо звести його в квадрат, то набуває значення коефіцієнта детермінації (R^2) буде представляти частку варіації, загальну для двох змінних (іншими словами, «ступінь» залежності двох змінних). Результати таких обчислень представлені нижче у таблиці 2. Щоб оцінити залежність між досліджуваними змінними було також знайдено не тільки «величину» кореляції, але й її значущість – p – рівні. Значущість їх визначалася за критерієм Фішера при рівні значущості 0,05.

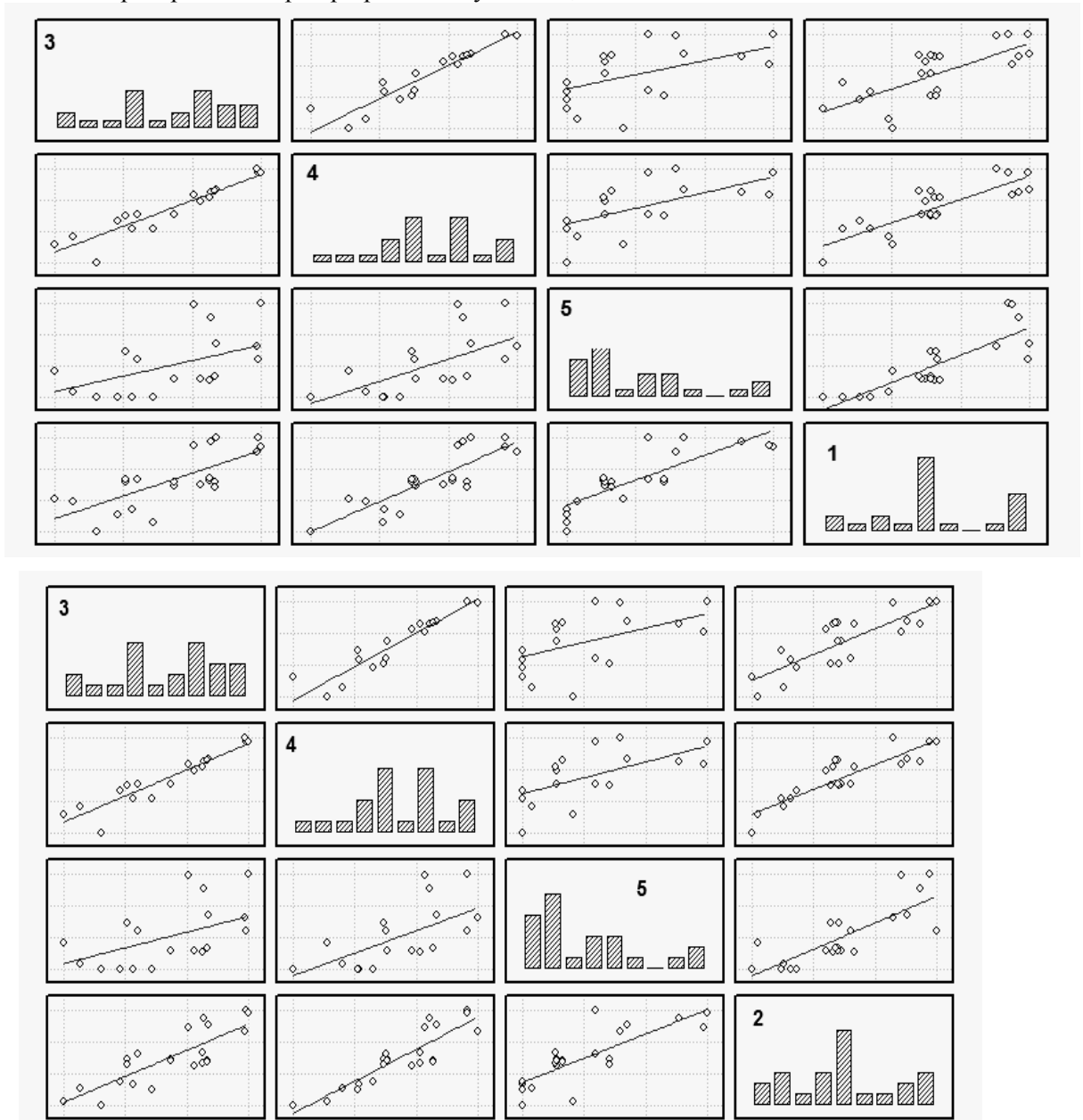


Рис. 1. Діаграми розсіяння та характер впливу досліджуваних факторів на зв'язки між іншими змінними факторами в тому ж наборі даних

Досліджувані чинники: 1 - швидкості СВРЗП, які визначені за вертикальним розчленуванням рельєфу; 2 - швидкості СВРЗП, які визначені за горизонтальним розчленуванням рельєфу; 3 - відмітки поверхні кристалічного фундаменту; 4- відмітки денної поверхні; 5 - потужність осадового чохла

Таблиця 2.

Результати розрахунків кореляції.

Досліджувані параметри r/r^2	Швидкості СВРЗП Vверт*	Швидкості СВРЗП Vгор**	Відмітка поверхні кристалічного фундаменту	Відмітка денної поверхні	Потужність осадового чохла
Швидкості СВРЗП Vверт*	1	-	0,73/0,53	0,84/0,71	0,83/0,69
Швидкості СВРЗП Vгор**	-	1	0,82/0,67	0,88/0,77	0,80/0,64
Відмітка поверхні кристалічного фундаменту Н	0,73	0,82	1	0,93/0,86	0,47/0,22
Відмітка денної поверхні Н1	0,84	0,88	0,93	1	0,59/0,35
Потужність осадового чохла Н2	0,83	0,80	0,47	0,59	1

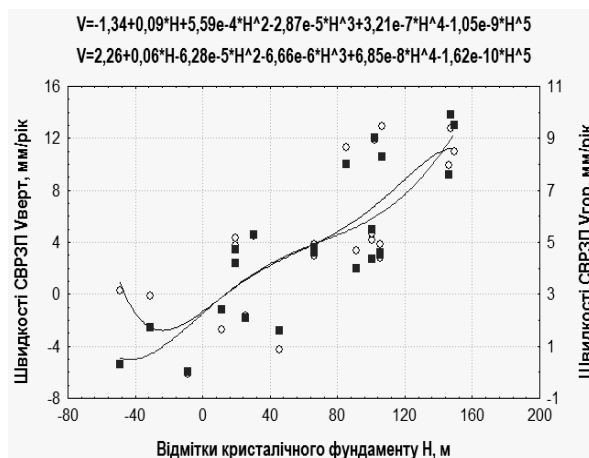
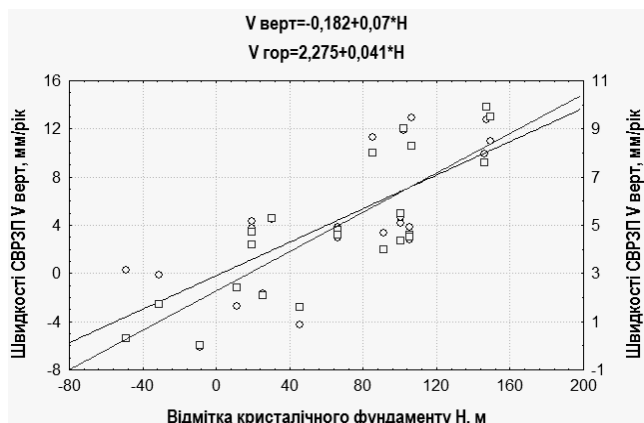
*Примітка: *швидкості СВРЗП, які визначені за вертикальним розчленуванням рельєфу
**швидкості СВРЗП, які визначені за горизонтальним розчленуванням рельєфу*

Результати аналізу залежності між швидкостями рухів, які визначені за вертикальним розчленуванням рельєфу та сумарною дією усіх чинників впливу свідчать про те, коефіцієнт кореляції $R = 0,93$; коефіцієнт детермінації $R^2 = 0,88$. Для перевірки нульової гіпотези про відсутність якого б то не було лінійного зв'язку між змінними та сукупністю чинників визначена статистика $F(3,19) = 45,651$; це значення відповідає рівню значущості $p = 0,0016$. Оскільки значення

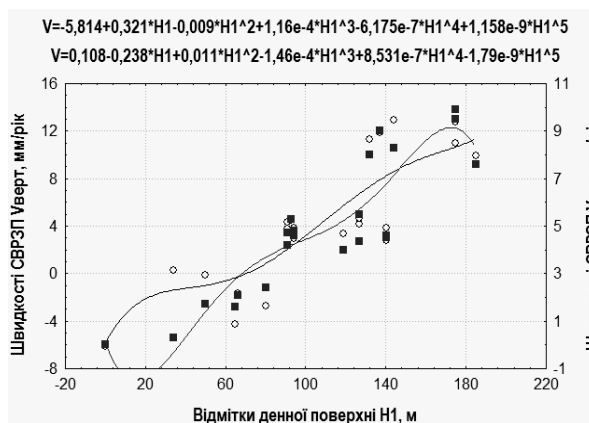
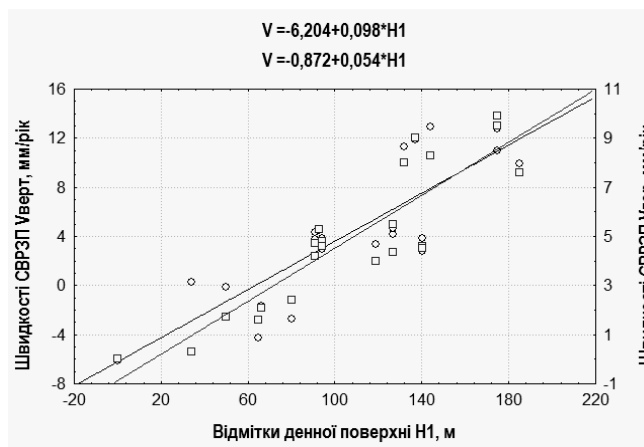
Лінійна апроксимація

Поліноміальна апроксимація

а)



б)



в)

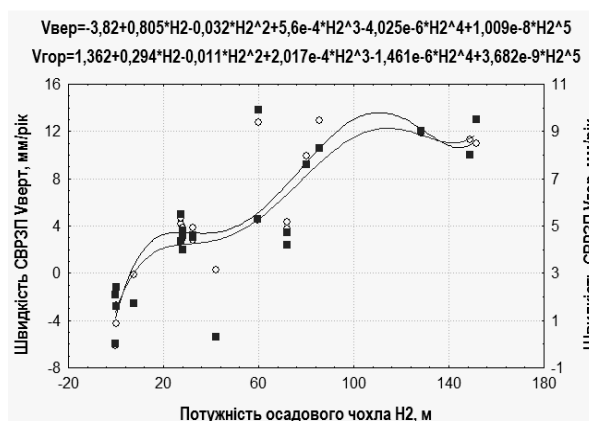
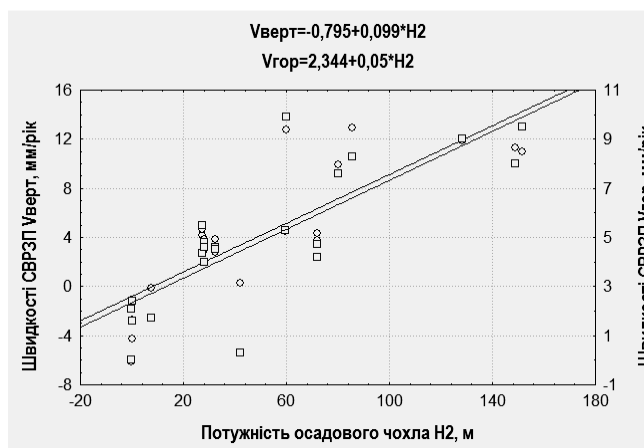



Рис. 2. Лінійна та поліноміальна апроксимації швидкостей СВРЗП (що визначені по вертикальному *V*_{верт} та горизонтальному *V*_{гор} розчленуванням рельєфу) і а) відміток поверхні кристалічного фундаменту; б) відміток денної поверхні; в) потужності осадового чохла

p досить мале, гіпотеза відхиляється. Аналогічно проаналізувавши наслідки обчислень стосовно зв'язку між швидкостями СВРЗП, які визначені за горизонтальним розчленуванням рельєфу та сукупністю досліджуваних чинників, встановлюємо, що коефіцієнт кореляції $R = 0,95$; коефіцієнт детермінації $R^2 = 0,90$. Визначена статистика $F(3,19) = 57,459$ відповідає рівню значущості $p = 0,00001$. Оскільки значення p знову досить мале, то і наступна нульова гіпотеза відхиляється. Це означає, що кореляція є встановленою.

Моделювання залежностей між змінними параметрами морфоструктурних блоків виконувалось за допомогою модулів «Загальні лінійні моделі (GLM)», «Загальні регресійні моделі (GRM)» і «Планування та аналіз експерименту». Підбір функцій до діаграм розсіювання дозволили виявити структуру зв'язків між досліджуваними змінними та визначити функції, які найкраще апроксимують досліджувані процеси (рис. 2, 3).


V верт - швидкості рухів, що визначені за вертикальним розчленуванням рельєфу
V гор - швидкості рухів, що визначені за горизонтальним розчленуванням рельєфу

Узагальненням лінійної регресійної моделі з двома змінними є багатовимірна регресійна модель (або модель множинної регресії), яку зручно записувати в матричній формі:

$$Y = Xb + e, \quad (1)$$

де $Y = (Y_1, Y_2, \dots, Y_n)T$ – вектор - стовпчик значень залежної змінної, T – символ транспортування; b – вектор-стовпчик (розмірності k) невідомих коефіцієнтів регресії; e – вектор випадкових відхилень, матриця

$$X = \begin{bmatrix} 1 & x_{11} & x_{1k} \\ \dots & \dots & \dots \\ 1 & x_{n1} & x_{nk} \end{bmatrix} \quad (2)$$

– матриця $n \times (k + 1)$; в i -му рядку знаходяться значення незалежних змінних, в i -му досліджуваному співвідношенні перша змінна – константа, дорівнює 1 [5].

В нашому випадку в якості залежних змінних будуть прийняті швидкості рухів, а незалежними чинниками – характеристики морфоструктур, а саме: x_1 – відмітка поверхні кристалічного фундаменту; x_2 – відмітка денної поверхні; x_3 – потужність осадового чохла.

Модуль Regression summary дозволив одержати результати досліджень у таблицях 3 та 4, в яких у колонках B вказані оцінки невідомих коефіцієнтів вектору b .

Таблиця 3.

Результати розрахунків коефіцієнтів функції регресії для Vверт.

	BETA	St. err. of BETA	B	St. err. of B	t(19)	p-level
Intercept			-6,28193	1,710011	-3,67362	0,001614
x_1	-0,1317	0,232617	-0,01261	0,022276	-0,56618	0,577899
x_2	0,670433	0,255091	0,078187	0,029749	2,628206	0,016556
x_3	0,493829	0,103975	0,059025	0,012428	4,749494	0,000139

Результати розрахунків коефіцієнтів функції регресії для Vгор.

	BETA	St. err. of BETA	B	St. err. of B	t(19)	p-level
Intercept			0,043488	0,807676	0,053843	0,957622
x_1	0,212006	0,209987	0,010623	0,010522	1,009617	0,325364
x_2	0,4206	0,230275	0,025665	0,014051	1,82651	0,083529
x_3	0,446843	0,09386	0,027945	0,00587	4,760729	0,000136

Таким чином, оцінка \widehat{f}_x невідомої функції регресії f_x в даному випадку буде мати вигляд наступний:

– для швидкості СВРЗП, яка визначена за вертикальним розчленуванням рельєфу

$$\widehat{f}_x = -6,281 - 0,01 \cdot x_1 + 0,078 \cdot x_2 + 0,059 \cdot x_3 \quad (3)$$

– для швидкості СВРЗП, яка визначена за горизонтальним розчленуванням рельєфу

$$\widehat{f}_x = 0,043 + 0,011 \cdot x_1 + 0,025 \cdot x_2 + 0,028 \cdot x_3 \quad (4)$$

В колонках St. Err. of B вказані стандартні похибки s_f оцінок коефіцієнтів. Їх розгляд показує, що стандартні похибки в оцінці всіх коефіцієнтів, окрім b_1 у таблиці 3 не перевищують значення самих коефіцієнтів, що говорить про статистичну надійність останніх. В стовпці t(19) наведено значення статистики Стьюдента для перевірки гіпотези про нульове значення відповідних коефіцієнтів; у стовпці p-level - рівень значущості відхилення цієї гіпотези. Достатньо малими (<0.05) ці рівні є тільки для коефіцієнтів при x_2 та при x_3 із таблиці 3 та при x_3 із таблиці 4.

Висновки та напрямок подальших досліджень

Таким чином, чинник «потужність осадового чохла» підтвердив необхідність включення його в обидві регресійні моделі, а чинник «відмітка денної поверхні» може бути включеним тільки для моделі формулювання залежності для швидкостей СВРЗП, які визначені за горизонтальним розчленуванням рельєфу. В той же час перевірка гіпотези про відсутність якого б то не було лінійного зв'язку між швидкостями рухів і сукупністю досліджуваних факторів (про це сказано вище) говорить про те, що слід продовжити вивчення лінійного зв'язку, аналізуючи як їх змістовне значення, так і матрицю парних кореляцій.

1. Нестерова О.Е. Морфометрический анализ рельефа при изучении локальных поднятий / О.Е. Нестерова // Рельефообразующие процессы: теория, практика, методы исследования: Материалы XXVIII Пленума геоморфологической комиссии РАН. Новосибирск, ИГ СО РАН.- Новосибирск, 2004. –С. 201-202. 2. Раницман Е.Я., Гласко М.П. Морфоструктурные узлы – места экстремальных природных явлений / Е.Я. Раницман, М.П. Гласко. М.: Медиа-Пресс, 2004. – 224 с. 3. Философов В.И. Основы морфометрического метода поисков тектонических структур / В.И. Философов. Саратов: СГУ, 1975. – 232с. 4. Боровиков В. STATISTICA: искусство анализа данных на компьютере для профессионалов. Санкт-Петербург: Питер, 2001. 5. <http://www.statsoft.com/textbook/stathome.html>.