

Корисна модель належить до екології і може бути використана в пасторальному моніторингу для оцінки рівня та характеру стійкості пасторальних екосистем.

Відомий спосіб оцінки перекриття трофічних ніш методом мінімальних відсотків, що передбачає визначення складу раціонів двох видів, на основі чого розраховують відносне перекриття їх трофічних ніш (або ступінь подібності їхніх раціонів) [1]. Недоліком описаного методу є відсутність оцінки подібності трофоелементів у трофічній мережі як у ролі споживача, так і в ролі ресурсу.

Відомий також спосіб побудови водних та лісових трофічних мереж методом мережевого рольового аналізу, який є найбільш близьким технічним рішенням до способу, що пропонується, і вибраний в якості прототипу [2]. Спосіб полягає в тому, що визначають усі компоненти фітоценозу, зооценозу та мікробоценозу екосистеми, будують матрицю бінарних коефіцієнтів (вид-вид) керуючись наступним принципом: 0 - при відсутності зв'язку, 1 - при наявності зв'язку. Зв'язки кожного виду з іншими видами оцінюють як в ролі хижака (в колонках матриці), так і в ролі жертви (в рядках матриці). Для аналізу даних застосовували REGE алгоритм мережевого рольового аналізу, що перетворює матрицю вид-вид на коефіцієнти R (в межах від 0 до 1), які реєструються для кожної пари видів. На основі R коефіцієнтів проводять ієрархічне кластерування та отримують дендрограми з розподілом зв'язків між трофічними елементами (видами), будують трофічні мережі екосистем.

Недоліком даної моделі є вибір видів екосистеми у якості трофоелементів, не зважаючи на те, що певні стадії розвитку одного і того ж виду, можуть виконувати різну трофічну роль, а також відсутність технології позначення зв'язків між трофоелементами в трофічній мережі пасторальних екосистем. Відсутній метод побудови трофічних мереж для пасторальних екосистем, які, як відомо, є одним з двох класичних типів наземних екосистем (пасовищного та детритного) з специфічними функціями та колообігом речовин та енергії.

Завдання корисної моделі - розробити спосіб побудови трофічних мереж екосистем пасторального типу із застосуванням рольового мережевого аналізу.

Технічним результатом від використання корисної моделі є технологія відбору трофоелементів та позначення зв'язків між відібраними трофоелементами для рольового мережевого аналізу трофічних мереж пасторальних екосистем.

Суть способу полягає у визначенні компонентів фітоценозу, зооценозу та мікробоценозу екосистеми, у підборі визначеного набору трофоелементів та позначенні зв'язків між ними у вхідній матриці керуючись принципом, коли рослини та пилок рослин і комахи незалежно від того чи поїдаються вони іншими трофоелементами пов'язані вихідними зв'язками з мертвими рослинами і мертвими тваринами відповідно, яку аналізують із застосуванням REGE алгоритму регулярної еквівалентності рольового мережевого аналізу на основі якого отримують матрицю подібності ролей трофоелементів, яка піддається ієрархічному кластеруванню, на основі якого виділяються трофічні класи і будуються графічні зображення моделей повної та формалізованої трофічних мереж.

На відміну від прототипу окремі трофоелементи виділяють не за окремими видами живих організмів в пасторальній екосистемі, а за трофічними ролями видів у екосистемі: для тих комах, які мають різні трофічні ніші для личинок та імаго, а також для самців та самок, зазначені стадії та статі вносять у вхідну матрицю як окремі трофоелементи. У вхідну матрицю рольового мережевого аналізу трофічної структури пасторальних екосистем вводять визначений набір трофоелементів: мертві тварини, мертві рослини, детрит, екскременти великої рогатої худоби, різні групи мікробоценозу, дощові черв'яки, велику рогату худобу, личинки, імаго, самці та самки кожного виду комах, вегетативна маса, пилок і нектар для кожного виду рослин.

Корисна модель ілюструється наступними фігурами, що представлені для пояснення опису, а саме:

На фіг. 1. зображено приклад ієрархічного кластерування при застосуванні рольового мережевого аналізу, що призвело до біологічних несинітниць в трофічних мережах.

На фіг. 2. зображено приклад ієрархічного кластерування при застосуванні рольового мережевого аналізу, що призвело до біологічних несинітниць в трофічних мережах.

На фіг. 3. зображено приклад вхідної матриці (на прикладі с. Банилів-Підгірний Чернівецької області) для рольового мережевого аналізу (в рядках трофоелементи виступають у ролі жертви, а в колонках - в ролі хижаків).

Номери в колонках та рядках відповідають номерам зашифрованих трофоелементів, для спрощення матриці.

На фіг. 4. зображено ієрархічне кластерування (на прикладі с. Банилів-Підгірний Чернівецької області) із застосуванням рольового мережевого аналізу вихідних матриць R з REGE алгоритму. Номери в дендрограмі відповідають номерам зашифрованих трофоелементів.

На фіг. 5. зображено граф повної трофічної мережі пасторальної екосистеми (на прикладі с. Банилів-Підгірний Чернівецької області). Кожна куля є окремим трофічним елементом в трофічній мережі. Номер кулі відповідає номеру зашифрованого трофоелемента, для спрощення графічного представлення трофічної мережі. Забарвлення куль свідчить про окремий трофоклас, куди входить відповідний трофоелемент.

На фіг. 6. зображено граф формалізованої трофічної мережі пасторальної екосистеми (на прикладі с. Банилів-Підгірний Чернівецької області). Кожна окрема куля з відповідним забарвленням відповідає окремому трофічному класу в трофічній мережі. Цифри біля куль відповідають номерам трофоелементів, що входять в ці трофічні класи.

Для спрощення матриць, графіків та схем (на прикладі трофічної мережі пасторальної екосистеми с. Банилів-Підгірний Чернівецької області) (фіг. 1 - фіг. 6) застосовувалося наступне кодування трофоелементів: 19 - *Aphrophora aini* Fall. (Афрофора альні), 20 - *Stenodema laevigatum* L. (Сліпняк гладенький), 21 - *Athous niger* L. (Ковалик чорний), 24 - *Adelphocoris lineolatus* Gz. (Сліпняк люцерновий), 25 - *Decticus verrucivorus* L. (Стрибун сірий), 35a - *Lacop murinus* L. (Ковалик сірий (імаго)), 35b - *L. murinus* (личинка), 37 - *Polymerus cognatus* Fieb. (Клоп буряковий бурий), 48 - *Syricta pipiens* L. (Джурчалка сирита), 76 - *Philaenus spumarius* L. (Пінявка звичайна), 78a - *Potosia lugubris* Hbst. (Бронзівка мармурова (імаго)), 78b - *P. lugubris* (личинка), 81 - *Dolycoris baccarum* L. (Щитник ягідний), 118 - *Cantharis rustica* Fall. (М'якотіллка червононога), 12 la - *Coccinella septempunctata* L. (Сонечко семикрапкове (імаго)), 12 lb - *C. septempunctata* (личинка), 126 - *Sympycna fusca* V. d. Lind. (Лютка тьмяна), 132a - *Musca domestica* L. (Муха кімнатна (імаго)), 132b - *M. domestica* (личинка), 138 - *Tettigoniidae* (Коники справжні), 145 - *Dryopteris filix-mas* (L.) Schott (Щитник чоловічий), 146 - *Equisetum arvense* L. (Хвощ польовий), 149 - *Carex leporina* L. (Осока заяча) 168 - *Cynosurus cristatus* L. (Гребінник звичайний), 169 - *Elytrigia repens* (L.) Nevski (Пирій повзучий), 181 - *Prunella vulgaris* L. (Суховершки звичайні (вегетативна маса)), 181* - *P. vulgaris* (пилок та нектар), 182 - *Mentha arvensis* L. (М'ята польова (вегетативна маса)), 182* - *M. arvensis* (пилок та нектар), 185 - *Thymus serpyllum* L. Чебрець звичайний ((вегетативна маса)), 185* - *T. serpyllum* (пилок та нектар),

198 - *Trollius europaeus* L. (Купальниця європейська (вегетативна маса)), 198* - *T. europaeus* (пиллок та нектар), 206 - *Potentilla anserina* L. (Перстач гусячий (вегетативна маса)), 206* - *P. anserina* (пиллок та нектар), 208 - *Agrimonia grandis* Andr. ex. C. A. Mey. (Парило велике (вегетативна маса)), 208* - *A. grandis* (пиллок та нектар), 212 - *Filipendula vulgaris* Moench. (Гадючник звичайний (вегетативна маса)), 212* - *F. vulgaris* (пиллок та нектар), 213 - *Lotus arvensis* Pers. (Лядвенець польовий (вегетативна маса)), 213* - *L. arvensis* (пиллок та нектар), 220 - *Achillea millefolium* Klok. et Krytzka (Деревій звичайний (вегетативна маса)), 220* - *A. millefolium* (пиллок та нектар), 230 - *Leontodon hispidus* L. (Любочки шафранові (вегетативна маса)), 230* - *L. hispidus* (пиллок та нектар), 232 - *Leucanthemum vulgare* Lam. (Королиця звичайна (вегетативна маса)), 232* - *L. vulgare* (пиллок та нектар), 235 - *Ranunculus acris* L. (Жовтець їдкий (вегетативна маса)), 235* - *R. acris* (пиллок та нектар), 236 - *Euphorbia cyparissias* L. (Молочай кипарисовидний (вегетативна маса)), 236* - *E. cyparissias* (пиллок та нектар), 242 - *Trifolium pratense* L. (Конюшина лучна (вегетативна маса)), 242* - *T. pratense* (пиллок та нектар), 249 - *Plantago media* L. (Подорожник середній), 250 - *Plantago lanceolata* L. (Подорожник ланцетолистий), 252 - *Lysimachia nummularia* L. (Вербозілля лучне (вегетативна маса)), 252* - *L. nummularia* (пиллок та нектар), 268 - *Campanula patula* L. (Дзвоники розлогі (вегетативна маса)), 268* - *C. patula* (пиллок та нектар), 270 - *Carduus crispus* L. (Будяк курчавий (вегетативна маса)), 270* - *C. crispus* (пиллок та нектар), 283 - *Juncus bufonius* L. (Ситник жаб'ячий), 284 - *Bellis perennis* L. (Стокотки багаторічні (вегетативна маса)), 284* - *B. perennis* (пиллок та нектар), 304 - *Rhinanthus minor* L. (Дзвінець малий (вегетативна маса)), 304* - *R. minor* (пиллок та нектар), 311 - *Viola arvensis* Murr. (Фіалка польова), 320р - Мертві рослини, 321т - Мертві тварини (трупі комах та черв'яків), 322 - Детрит (напіврозкладені рештки рослин та комах), 323 - Дощові черв'яки, 324 - Гетеротрофні бактерії, 325 - Мікроміцети, 326 - Актиноміцети, 327 - екскременти ВРХ (великої рогатої худоби), 328 - Велика рогата худоба (ВРХ).

При позначенні трофічних зв'язків між виділеними трофоелементами для побудови вхідної матриці рольового мережевого аналізу трофічної структури пасторальних екосистем постали дискусійні питання:

1. Чи пов'язані пиллок та нектар різних видів рослин вихідними зв'язками з мертвими рослинами?

2. Чи ті види рослин, які поїдаються хоча б одним видом комах та ВРХ, пов'язані вихідними зв'язками з мертвими рослинами?

3. Чи ті комах, які поїдаються іншими комахами, пов'язані вихідними зв'язками з мертвими комахами?

Відповідь на ці питання важлива, оскільки відомо, що непродумане математичне моделювання нерідко призводить до біологічних несинітниць.

Усі вищезазначені питання з'ясовані на прикладі побудови вхідної матриці рольового мережевого аналізу трофічної структури однієї із пасторальних екосистем Чернівецької області (с.Банилів-Підгірний). При пошуку відповідей на досліджувані питання ми прийшли до висновку, що їх неможливо розглянути відокремлено один від одного. Тому досліджено чотири можливих комбінації:

коли види рослин чи комах при поїданні іншими трофоелементами, а також пиллок не пов'язані вихідними зв'язками з мертвими рослинами чи мертвими тваринами відповідно;

коли види рослин чи комах при поїданні іншими трофоелементами не пов'язані вихідними зв'язками з мертвими рослинами чи мертвими тваринами відповідно, а пиллок, в будь-якому випадку, пов'язаний вихідним зв'язком з мертвими рослинами;

коли пиллок різних видів рослин, в будь-якому випадку, не пов'язаний вихідними зв'язками з мертвими рослинами, а види рослин чи комах, в будь-якому випадку (не залежно від того чи поїдаються вони іншими трофоелементами), пов'язані вихідними зв'язками з мертвими рослинами чи мертвими тваринами відповідно;

коли види рослин чи комах, в будь-якому випадку (не залежно від того чи поїдаються вони іншими трофоелементами), та пиллок різних видів рослин пов'язані вихідними зв'язками з мертвими рослинами чи мертвими тваринами відповідно.

Три перших комбінації призводили до біологічних несинітниць в трофічних мережах, які проявлялися в об'єднанні REGE алгоритмом в один трофоклас наступних трофоелементів:

ВРХ (328), мертвих комах (321т), мертвих рослин (320р), детриту (322) та комах (фіг. 1);

Гетеротрофних бактерій (324), мікроміцет (325), актиноміцет (326), екскрементів ВРХ (327); пилку рослин, вегетативної маси рослин, дощових черв'яків (323) та деяких комах (фіг. 1);

ВРХ (328), пилку та вегетативної маси деяких рослин (фіг. 2);

Мертвих рослин та екскрементів ВРХ (фіг. 2).

Вхідна матриця з комбінацією, коли рослини та пиллок рослин і комах незалежно від того чи поїдаються вони іншими трофоелементами пов'язані вихідними зв'язками з мертвими рослинами і мертвими тваринами відповідно, виявилась найбільш біологічно правильною, оскільки REGE алгоритм рольового мережевого аналізу з одного боку зберіг інформацію про цінні для пасторальних екосистем трофічні ролі, а з другого - не спричинив будь-яких біологічних несинітниць. Крім того, дана комбінація виправдала себе й на інших досліджуваних екосистемах.

Приклад.

У вхідні матриці рольового мережевого аналізу трофічної структури пасторальних екосистем Чернівецької області було введено 494 трофоелементи. Для тих комах, які мають різні трофічні ніші для личинок та імаго, а також для самців та самок, зазначені стадії та статі вносились у вхідну матрицю як окремі трофоелементи. Крім того, як окремі трофоелементи розглядались вегетативна маса рослин різних видів та їх пиллок і нектар. Відокремлено вносились у вхідну матрицю мертві тварини, мертві рослини, детрит, екскременти ВРХ, дощові черв'яки, гетеротрофні бактерії, гриби (мікроміцети), актиноміцети. Загалом у вхідну матрицю було введено 15 різновидів трофоелементів (табл. 1).

Таблиця 1

Кількість трофоелементів у вхідній матриці для рольового мережевого аналізу трофічних мереж пасторальних екосистем в межах Чернівецької області

№	Трофоелементи	Кількість трофоелементів
1.	Личинки комах	28

2.	Імаго комах	136
3.	Самці комах	4
4.	Самки комах	4
5.	Вегетативна маса рослин	179
6.	Пилок та нектар рослин	134
7.	Мертві рослини	1
8.	Мертві тварини	1
9.	Детрит	1
10.	Дощові черв'яки	1
11.	Гетеротрофні бактерії	1
12.	Мікрومیцети	1
13.	Актиноміцети	1
14.	Екскременти ВРХ	1
15.	ВРХ	1
Σ		494

Кожному трофоелементу присвоювали порядкові номери, які надалі застосовувалися у вхідних матрицях, графіках та схемах.

Технологія побудови рольових трофічних мереж зводилась до чотирьох етапів:

1. Будували матрицю бінарних коефіцієнтів (вид-вид) керуючись наступним принципом: 0 - при відсутності зв'язку, 1 - при наявності зв'язку. Зв'язки кожного трофоелементу з іншими трофоелементами оцінювали як в ролі споживача (в колонках матриці), так і в ролі ресурсу (в рядках матриці) (Фіг. 3).

2. Для аналізу даних застосовували REGE алгоритм рольового мережевого аналізу, що перетворює матрицю вид-вид на коефіцієнти R подібності трофічних ролей (в межах від 0 до 1), які реєструються для кожної пари видів.

3. Проводили ієрархічне кластерування вихідних матриць R з REGE алгоритму і отримували дендрограми з розподілом зв'язків між трофічними елементами (Фіг. 4). Остаточне групування трофічних елементів у трофічні класи базувалося на величині відповідності кластеру. Результуюча регресія R^2 інтерпретувалась як величина відповідності кластеру. Вибирали кластерування з такою кількістю класів, при якому R^2 - максимальна.

4. На основі ієрархічного кластерування та результуючої регресії R^2 будували трофічні мережі (Фіг. 5) та спрощені їх графи в кольорі (Фіг. 6).

Добір трофоелементів та визначення характеру зв'язків між ними з усуненням біологічних несинітниць заклали основу для застосування рольового мережевого аналізу для побудови трофічних мереж пасторальних екосистем.

Техніко-економічна ефективність корисної моделі полягає в можливості її застосування для оцінки різних типів стійкості (резистентної та пружної) досліджуваної екосистеми. Багато протиріч щодо стійкості екосистем виникає саме на основі того, що дослідники не розділяють ці два окремі типи стійкості. На відміну від інших дослідників, що враховують лише окремі елементи екосистеми для оцінки її стійкості, даний спосіб базується на цілісному екосистемному підході, оскільки в основі аналізу закладені зв'язки між усіма живими компонентами екосистеми.

Джерела інформації:

1. Гандзюра В.П. Екологія. Головні поняття з позицій системного підходу: Навч. посіб. - К.: Вид. КНУ, 2002. - 85 с.

2. Johnson J.C., Borgatti S.P., Luczkovich J.J., Everett M.G. Network Role Analysis in the Study of Food Webs. An Application of Regular Role Coloration [Електронний ресурс]// Journal of Social Structure. -2001. - № 3. - Режим доступу: <http://www.cmu.edu/ioss/cojit.ent/articles/volume2/JohnsonBorgatti.html>.

19	
213	
213*	
220	
220*	
230	
230*	
232	
232*	
235	
235*	
236	
236*	
242	
121a	
249	
250	
252	
252*	
268	
145	
146	
149	
168	
169	
181	
181*	
182	
182*	
185	
185*	
198	
198*	
206	
206*	
208	
208*	
212	
212*	
268*	
270	
270*	
283	
284	
284*	
304	
304*	
311	
242*	
325	
326	
323	
324	
327	
78a	
78a	
132a	
138	
81	
21	
24	
25	
20	
35a	
37	
48	
76	
329p	
321v	
322	
118	
35a	
121a	
126	
132a	
328	

Fig. 1

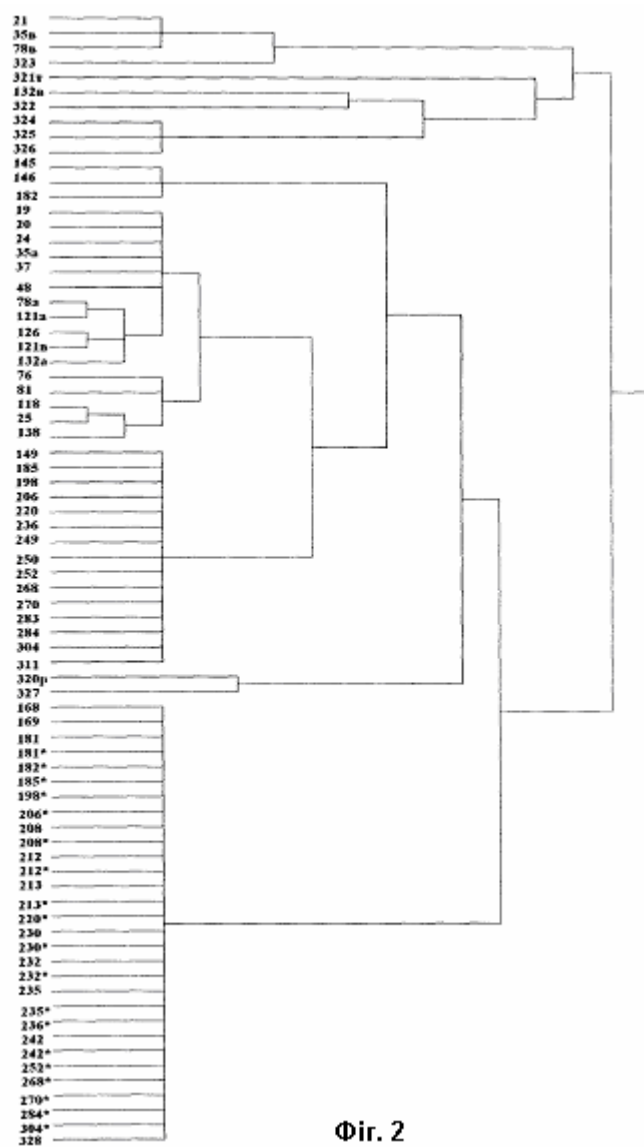


Fig. 2

[illegible]

Fig. 3

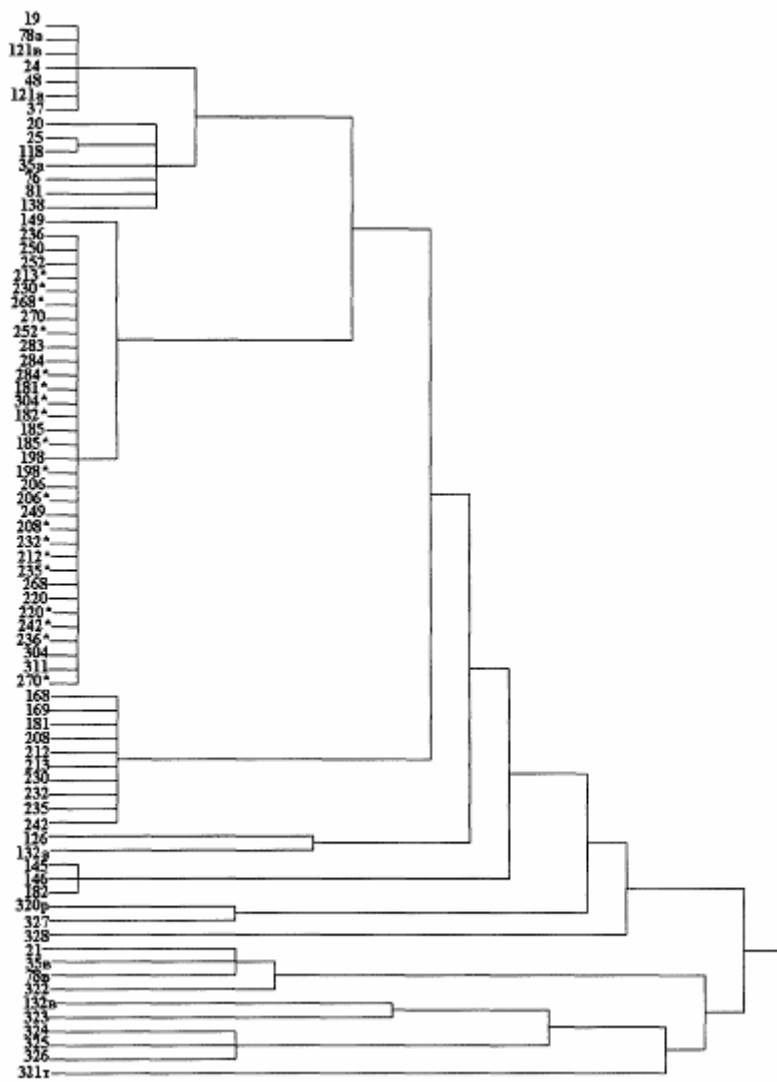
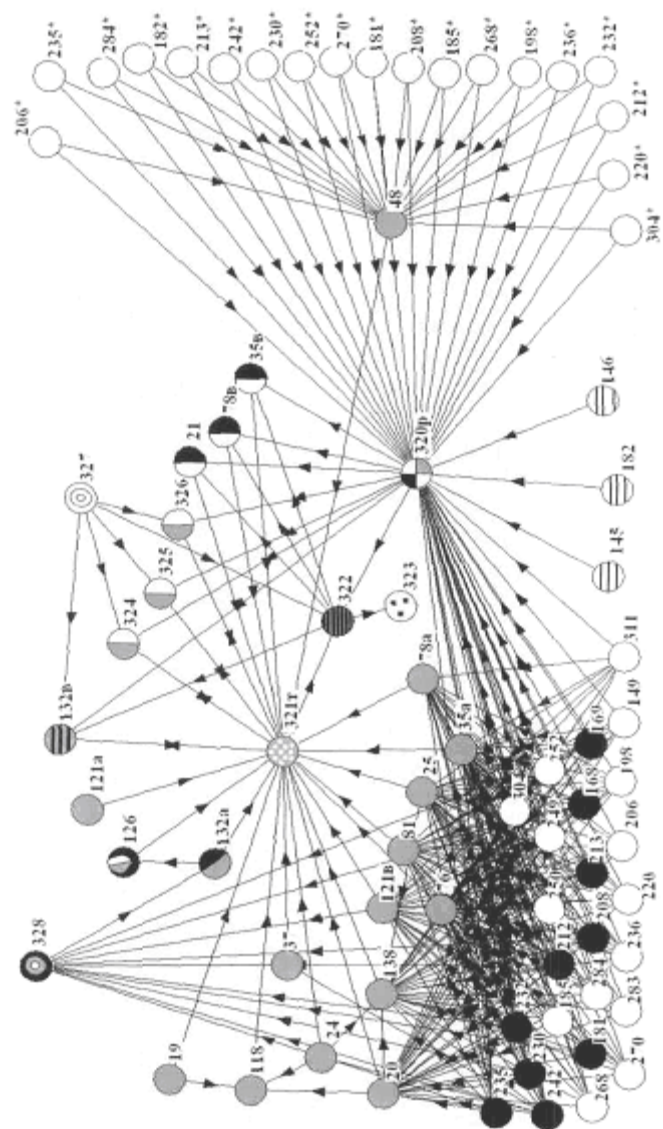


Fig. 4



Φir. 5

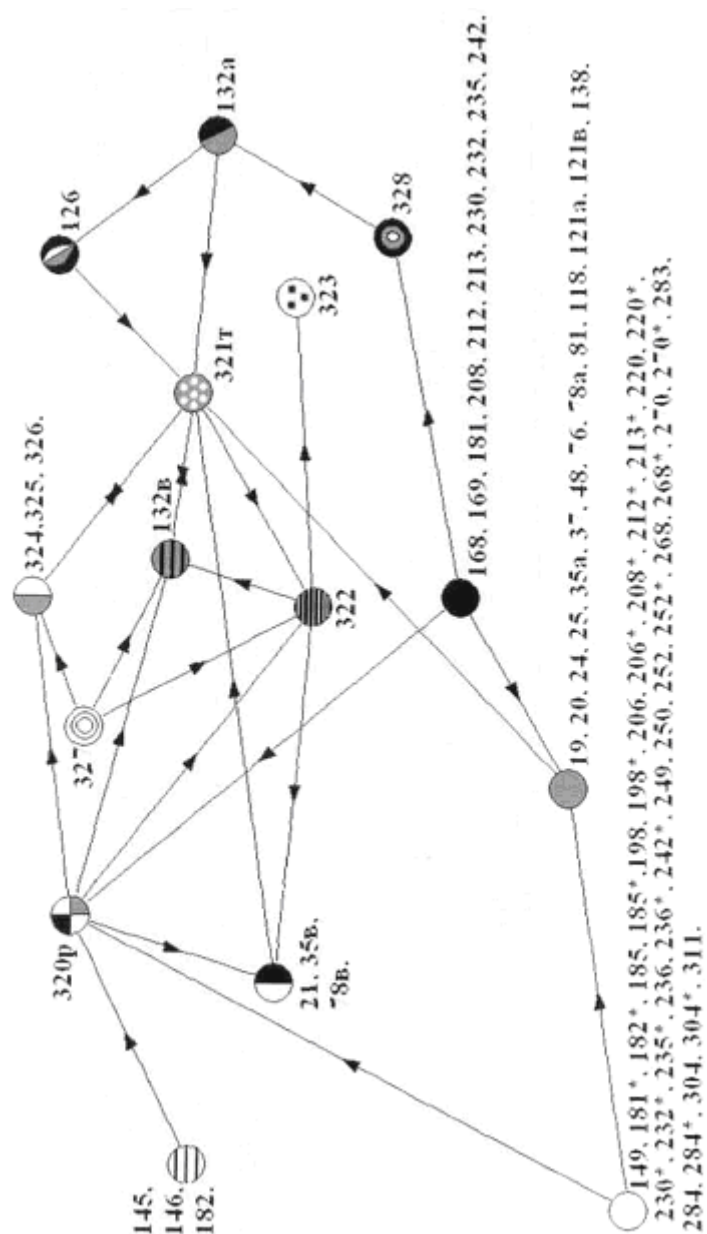


Fig. 6