

ИНФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ МЕЖКОМПОНЕНТНЫХ СВЯЗЕЙ  
В ТОПОГЕОСИСТЕМАХ ЗАПОВЕДНИКА «КОМСОМОЛЬСКИЙ»

П.С. Петренко

ФГБУ «Государственный природный заповедник «Комсомольский»

пр-т Мира 54, г. Комсомольск-на-Амуре, 681000,

e-mail: petrenkopolina8710@mail.ru

*На основе полевых ландшафтно-экологических исследований и количественных расчетов с использованием методов теории информации построена моносистемная кибернетическая модель структуры геосистем заповедника «Комсомольский». Проанализированы основные каналы внешних и внутренних информационных связей структурно-функциональных характеристик геосистем заповедника; выявлены признаки-эдификаторы, индикаторы, ретрансляторы.*

*Ключевые слова:* геосистема, информационная модель, эдификатор, индикатор, ретранслятор.

**Введение**

В организации мониторинга и охраны природы заповедных территорий преобладают отраслевой и биоцентрический подходы, когда основное внимание сосредоточено на изучении отдельных, преимущественно биотических, компонентов ландшафта и их экологических связей – главным образом, вещественно-энергетических. При научном обосновании организации заповедного дела необходим комплексный ландшафтно-экологический подход, который на практике реализован лишь для немногочисленных биосферных заповедников [17]. При таком подходе рассматривается гораздо более широкий спектр экологических связей в геосистемах как вещественно-энергетических, так и информационных [1], что позволяет вскрыть функциональные механизмы, создающие опеределенные природно-территориальные структуры.

Данное сообщение посвящено количественной оценке моносистемной организации локальных (топологических) природных комплексов заповедника «Комсомольский» на основе их эмпирико-статистического моделирования с применением методов информационного анализа [10]. Как известно [8, 20, 18], эти методы наиболее адекватно позволяют раскрыть основные закономерности организации природных систем.

**Объект и методы**

Государственный природный заповедник (ГПЗ) «Комсомольский» расположен на зональной границе бореальных и суббореальных ландшафтов Юга Дальнего Востока, в Амурско-Приморской физико-географической стране, Нижнеамурской области и одноименной с ней провинции [9].

Территория заповедника охватывает один из сохранившихся в Нижнем Приамурье крупных массивов темнохвойных и хвойно-широколиственных лесов. Здесь соседствуют представители трех основных флор: охотско-камчатской, восточно-сибирской и маньчжурской. Под лесными сообществами распространены почвы буроземного типа: в южнотаежных и подтаежных лесах буротаежные, в том числе иллювиально-гумусовые, а в суб-

неморальных – бурые почвы, в том числе бурые горнолесные.

Согласно [16], на территории ГПЗ «Комсомольский» выделяется три типа ландшафтов. Большую часть территории занимают ландшафты низкогорных и среднегорных хребтов и массивов со средне-таежными елово-пихтовыми лесами, представленные 4 типами местности и 8 урочищами. Холмисто-увалистые предгорья (местность) образуют урочища подгорных шлейфов и верхних частей увалов, вершины сопок с буро-таежными оподзоленными почвами на суглинисто-щебнистом деловии сланцев и песчаников под моховыми елово-пихтовыми лесами. Местность средней части горных склонов включает урочища склонов разной крутизны и экспозиции с горными буро-таежными почвами на маломощном деловии под ельниками-зеленомошниками, лишайниками и березняками; долин ключей, верховий речек с бурыми таежными оглееными среднесуглинистыми почвами под травянисто-моховыми елово-пихтовыми лесами; крутых каменистых склонов, прилегающих к долине Амура и скальных обнажений, под дубняками с ценозами каменистых обнажений. В этом типе ландшафта также встречаются урочища крутых пригребневых частей склонов с бурыми таежными почвами на грубообломочном элювии и деловии сланцев и песчаников под разреженными вересковыми лишайниками и днищ нижних заболоченных частей рек.

Меньшую по площади часть заповедника занимают ландшафты аллювиальных низменностей суженных участков долины Амура с пойменными лугами (урочища супесчаных релкок поймы) и межгорных болотно-озерных низменных равнин (мари).

Заповедник можно отнести к системе зональных географических экотонов, по определению [7]. Предполагается, что геосистемы локального уровня здесь находятся в критическом (пессимальном) состоянии, далеко от их функционального оптимума и структурной устойчивости, и отличаются повышенной чувствительностью к внешним воздействиям.

На территории заповедника были проведены ландшафтно-экологические исследования на топологическом уровне. Было заложено 23 пробных площадки в различных типах локальных местоположений (рис. 1) – геотопах, по определению [14]. Геотопы образуют систему местных ландшафтных сопряжений [4], или катен, – от элювиальных и трансэлювиальных типов местоположений до аккумулятивных и супераккумулятивных. Пробные площадки охватили все перечисленные выше типы урочищ.

На каждой пробной площадке по общепринятым методикам полевых ландшафтных и биогеоценологических исследований проводились закладка и описание геоботанической площадки, почвенного профиля, измерялись температура почвы на различных глубинах и освещенность на различных высотах. В данной статье отражены результаты анализа эмпирических данных по 18 геоконтактным признакам (на основе полевых исследований 2011 г.), объединенных в 5 блоков (табл.).

Анализ материала проведен с помощью методов теории информации, которые уже доказали свою эффективность при изучении межкомпонентных ландшафтных связей [1, 12, 13, 18]. Для построения информационной модели использовалась мера информационной сопряженности  $T(AB)$  явления  $A$  с фактором  $B$  (в каждой паре признаков). Количество информации оценивается в двоичных единицах (битах).

$$T(AB) = H(A) + H(B) - H(AB),$$

где  $H$  – энтропийная мера разнообразия. При этом:

$$H(A) = \sum_{i=1}^n P_i \log_2 P_i, \quad H(B) = \sum_{j=1}^m P_j \log_2 P_j,$$

$$H(AB) = \sum_{i,j=1}^{n,m} P_{ij} \log_2 P_{ij}, \quad P_{ij} = k_{ij}/N,$$

где  $k_{ij}$  – частота (встречаемость) объектов  $A$  и  $B$  совместно по  $i$ -му и  $j$ -му состояниям;  $N$  – суммарная частота.

Направление связей определялось вначале, исходя из известных представлений о характерных временах различных природных компонентов [2]. В случае, если направления связей априори было определить затруднительно, для их уточнения рассчитывались коэффициенты приема  $K(B;A)$  и передачи информации  $K(A;B)$ , по [11]. Так, при  $K(B;A) > K(A;B)$  преобладает входное воздействие от  $B$  к  $A$ , при  $K(B;A) < K(A;B)$  – выходное воздействие от  $A$  к  $B$ , при  $K(B;A) = K(A;B)$  –  $A$  и  $B$  в равной мере воздействуют друг на друга. В первом случае признак  $A$  считается индикатором, во втором – эдификатором (средообразователем), в третьем – оба признака ( $A$  и  $B$ ) являются ретрансляторами [10].

$$K(B;A) = \frac{T(A,B)}{H(A)},$$

$$K(A;B) = \frac{T(A,B)}{H(B)}.$$

Как известно, в формировании ландшафтов абсолютными эдификаторами являются геоморфологические признаки, которые в системе ландшафтных связей выс-

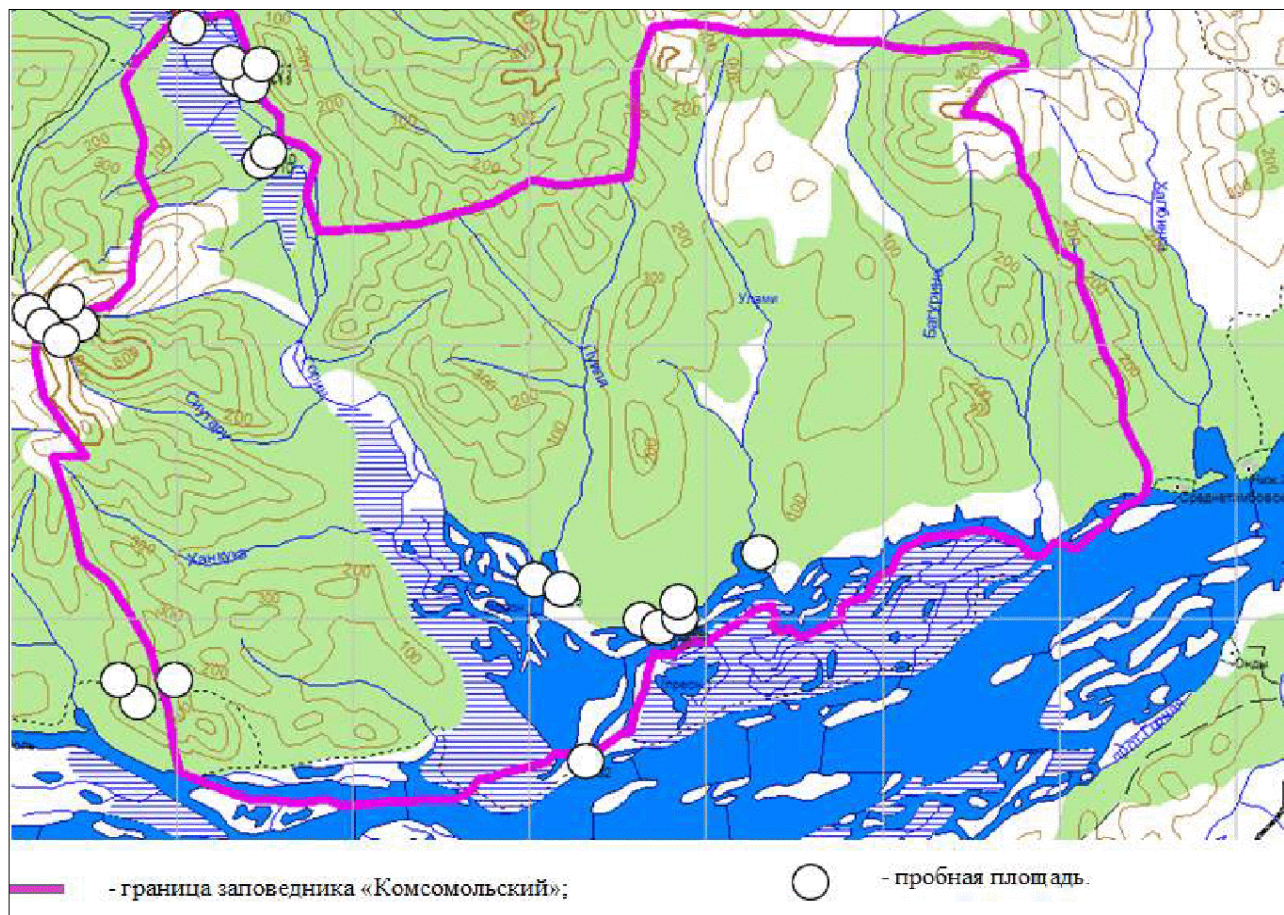


Рис. 1. Карта-схема расположения пробных площадей на территории Комсомольского заповедника

Перечень геокомпонентных признаков для моделирования

№ п/п	Наименование признака	Единица измерения
Геоморфологический блок		
1.	Абсолютная высота местности	м
2.	Угол наклона поверхности	°
3.	Тип местоположения, по М.А. Глазовской [1964]	качественный признак
4.	Механический состав пород	качественный признак
Почвенный блок		
5.	Мощность почвенного горизонта А <sub>1</sub>	см
6.	Мощность гумусового профиля	см
7.	Мера сложности почвенного профиля	биты
8.	Механический состав почвенного горизонта А <sub>1</sub>	качественный признак
Фитоценотический блок		
9.	Глубина проникновения корней травянистых растений	см
10.	Мера флористического разнообразия травяно-кустарничкового яруса	биты
11.	Мера флористического разнообразия древесного яруса	биты
12.	Сырая надземная фитомасса травостоя	г/м <sup>2</sup>
Геофизический блок		
13.	Температура почвы на глубине 30 см	°С
14.	Температура почвы на глубине 40 см	°С
15.	Влажность почвенного горизонта А <sub>1</sub>	качественный признак
16.	Вертикальный температурный градиент в почве	°С/см
Геохимический блок		
17.	Гумус почвенного горизонта по Тюрину А <sub>1</sub>	%
18.	Гидролитическая кислотность почвы	мг-экв/100 г почвы

тупают только в качестве факторов. Остальные признаки могут играть роль как явлений, так и факторов. Они образуют группу вторичных эдификаторов (второстепенных средообразователей, по терминологии А. Д. Арманда [1]) и рассчитываются с помощью коэффициента ретрансляции  $K_{PT}$  [11].

$$K_{PT} = \frac{\sum_{T=1}^Q T(AB) \uparrow + \sum_{T=1}^Q T(AB) \downarrow}{\sum_{T=1}^Q T(AB) \downarrow + \sum_{T=1}^Q T(AB) \uparrow}$$

где  $T(AB) \uparrow$  – информационная мера связи для первого случая;  $T(BA) \downarrow$  – для второго и  $T(AB) \uparrow$  – для третьего. Критерии, позволяющие классифицировать эти признаки, были приняты согласно рекомендаций [11]: при  $K_{PT} < 0,70$  признак  $A$  выступает в качестве индикатора; при  $K_{PT} = 0,70 \div 1,40$  – выполняет функции ретранслятора; при  $K_{PT} > 1,14$  служит эдификатором.

#### Результаты и обсуждение

По результатам расчетов построена информационная модель – ориентированный граф межкомпонентных

ландшафтных связей, – отражающая структурную организацию геосистем заповедника (рис. 2). Модель демонстрирует упорядоченную количественную зависимость геокомпонентных признаков друг от друга. Направление связей показано стрелками (от фактора к явлению). Толщина стрелки соответствует «силе» связи.

Территориальное распределение структурных и функциональных характеристик топогеосистем достаточно жестко детерминировано типом местоположения (3) (в скобках указаны номера признаков (рис.2)). Его влияние наиболее ярко выражается в глубине проникновения корней травянистых растений ( $T(9;3)=0,577$ ), а также в почвенных, геофизических и геохимических признаках ( $T(6;3)=0,55$ ,  $T(8;3)=0,587$ ,  $T(17;3)=0,738$ ;  $T(18;3)=0,666$ ). Геохимические признаки, в свою очередь, определяют меру флористического разнообразия травяно-кустарничкового яруса ( $T(10;17)=0,568$ ,  $T(10;18)=0,512$ ). Величина связи выражена в двоичных единицах (битах) информации. Цифрами в скобках указаны номера признаков, где первая цифра – явление, а вторая – фактор.

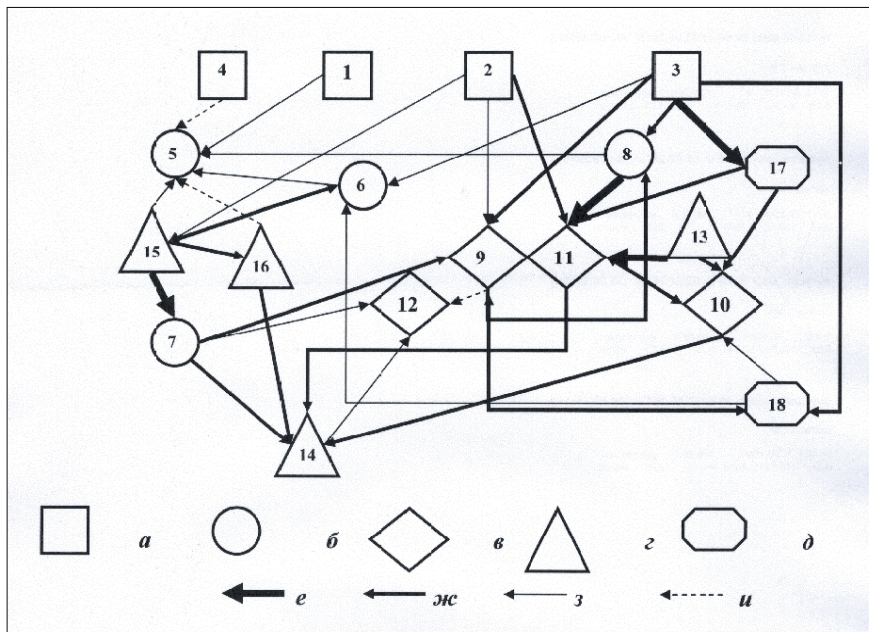


Рис. 2. Информационная модель межкомпонентных ландшафтных связей геосистем заповедника «Комсомольский».

Геокомпонентные блоки: *a* – геоморфологический; *б* – почвенный; *в* – фитоценоотический; *г* – геофизический; *д* – геохимический. Обозначение номеров признаков см. в табл. Информационные меры связи между признаками (в битах): *e* – более 0,700; *ж* – 0,551-0,700; *з* – 0,401-0,550; *и* – 0,400 и менее

Второе место по силе воздействия занимает угол наклона поверхности (2). Его влияние направлено на флористическое разнообразие древесного яруса, глубину проникновения корней травянистых растений и влажность гумусового почвенного горизонта ( $T(9;2)=0,503$ ,  $T(11;2)=0,563$ ,  $T(15;2)=0,501$ ). В горах на крутых склонах наличие древесной растительности резко уменьшается по сравнению с равнинными территориями. Крутизна склона (2) препятствует или, напротив, способствует поступлению солнечной энергии, что отражается на влажности почвы (15).

Влажность почвенного горизонта  $A_1$  (15) – одна из важнейших промежуточных средообразующих характеристик геосистемы – обусловлена типом местоположения и крутизной склона ( $3 \rightarrow 6 \rightarrow 15$ ,  $2 \rightarrow 15$ ;  $T(15;6)=0,655$ ). Подобное влияние рельефа на влажность почвы отмечено в сосноволесных геосистемах Поволжья, которая, в свою очередь, определяет зональные группировки ландшафтных фаций [11].

Местоположение и механический состав горных пород оказывают незначительное воздействие на мощность гумусового горизонта ( $T(5;1)=0,418$ ,  $T(5;4)=0,371$ ).

Таким образом, выделяется два ансамбля ландшафтно-экологических связей. В основе первого, более значимого, находится тип местоположения (3). Влияние этого фактора через геохимические почвенные показатели распространяется по всей системе ландшафтных связей ( $3 \rightarrow 17$  и  $3 \rightarrow 18$ ). В основе второго находится крутизна склона (2), воздействующая через разнообразие древесных пород на геофизические почвенные факторы и разнообразие травяно-кустарничкового яруса ( $2 \rightarrow 11 \rightarrow 14$  и 10).

По коэффициентам ретрансляции  $K_{PT}$  выявлены ка-

налы связи с наибольшей пропускной способностью (вторичные эдификаторы) – почвенные признаки 13, 15, 17, 18, для которых  $K_{PT}$  равен соответственно 3,33, 2,26, 4,2, 1,61 бит. Это демонстрирует зависимость системы ландшафтных связей от фоновых климатических факторов окружающей среды.

В работе [11] влажность почвы также отмечена как внутрисистемный эдификатор. Интересно, что сюда же примыкает мощность почвенного горизонта  $A_1$  (5), тогда как для нашей модели она является главным индикатором.

Перейдем к выявлению индикаторов – главных показателей внутрисистемных изменений в ландшафте, с различной скоростью реагирующих на внешние воздействия. Они выступают в качестве «тупики» информации, поскольку существенно не передают полученную информацию другим признакам [11]. Самые надежные индикаторы исследуемых топогеосистем – мощность почвенного горизонта  $A_1$  (5) и температура почвы на глубине 40 см (14), а также все компоненты фитоценоотического блока (9–12), напрямую зависящие от них мощность гумусового профиля (6) и механический состав горизонта  $A_1$  (8). Подобный список индикаторов был выявлен для локальных природных комплексов Среднего Поволжья [11] и высокогорий Центрального Кавказа [8].

Хорошо просматривается группа связанных между собой индикаторов: мера разнообразия травяно-кустарничкового яруса (10) через температуру почвы (13–14) воздействует на надземную фитомассу травостоя (12). Сюда же можно присоединить другой индикатор – глубину проникновения корней травянистых растений (9), который оказывает слабое влияние на фитомассу травостоя ( $10 \rightarrow 14 \rightarrow 12 \rightarrow 9$ ).

### Заключение

Таким образом, анализ представленной модели выявил основные edificационные и индикаторные признаки формирования геосистем топологической размерности. Главный ретранслятор системы - почва, в частности ее физические (температура почвы на глубине 30 см (13) и влажность почвенного горизонта  $A_1$  (15)) и химические (количество гумуса (17) и гидrolитическая кислотность почвы (18)) характеристики.

Основные индикаторы геосистем – мощность почвенного горизонта  $A_1$ , мера флористического разнообразия древесного яруса (5), сырая надземная фитомасса травостоя (11), температура почвы на глубине 40 см (14), по значениям которых можно судить о структурно-функциональном состоянии природных комплексов заповедника.

### ЛИТЕРАТУРА:

1. Арманд А.Д. Информационные модели природных комплексов. М.: Наука, 1975. 126 с.
2. Арманд Д.Л., Тагульян В.О. Некоторые принципиальные ограничения эксперимента и моделирования в географии // Изв. АН СССР. Серия география. 1974. №4. С. 129–138.
3. Беручашвили Н.Л. Методика ландшафтно-геофизических исследований и картографирования состояний природно-территориальных комплексов. Тбилиси: Изд-во Тбилисского ун-та, 1983. 200 с.
4. Глазовская М.А. Геохимические основы типологии и методики исследований природных ландшафтов. М.: Изд-во МГУ, 1964. 230 с.
5. Добровольский В.В. Практикум по географии почв с основами почвоведения. М.: «Просвещение», 1982. 127 с.
6. Ефимова Н.А. Радиационные факторы продуктивности растительного покрова. Ленинград: Гидрометеоиздат, 1977. 216 с.
7. Залетаев А.С. Экотонные экосистемы как географическое явление и проблемы экотонизации биосферы // Современные проблемы географии экосистем (Тезисы докл. Всесоюз. совещ.). М.: Ин-т географии АН СССР, 1984. С. 53–55.
8. Залиханов М.Ч. Высокогорная геоэкология в моделях. М.: Наука, 2010. 488 с.
9. Исаченко А.Г. Ландшафты СССР. Л.: Изд-во ЛГУ, 1985. 320 с.
10. Кастлер Г. Азбука теории информации // Теория информации в биологии. М: Изд-во иностр. лит., 1960. С. 9–53.
11. Коломыц Э.Г. Локальные механизмы глобальных изменений экосистем. М.: Наука, 2008. 427 с.
12. Коломыц Э.Г. Организация и устойчивость хвойно-лесных экосистем на бореальном экотоне Русской равнины // Изв. РАН. Серия географич., 1995. № 3. С. 37–51.
13. Коломыц Э.Г. Поиск локальных механизмов глобальных изменений природной среды в целях геосистемного мониторинга // Изв. РАН. Серия географич., 2001. № 1. С. 25–32.
14. Крауклис А.А. Особенности географических градаций топического порядка // Топологические аспекты учения о геосистемах. Новосибирск: Наука, 1974. С. 87–137.
15. Методы изучения биологического круговорота в различных природных зонах / Базилевич Н.И., Титлянова А.А., Смирнов В.В. и др. М.: Наука, 1978. 183 с.
16. Никонов В.И. Природные ландшафты Нижнего Приамурья // Сибирский географический сборник. 1975. Вып. 10. С. 128–175.
17. Пузаченко Ю.Г. Концепция биосферных заповедников в изменяющихся социально-экономических условиях // Заповедное дело: Науч.-метод. записки. 1998. Вып. 3. С. 90–95.
18. Пузаченко Ю.Г., Скулкин В.С. Структура растительности лесной зоны СССР. Системный анализ. М.: Наука. 1981. 275 с.
19. Ханвелл Дж. Методы географических исследований. М.: Изд-во «Прогресс», 1977. 392 с.
20. Хильми Г.Ф. Основы физики биосферы. Л.: Гидрометеоиздат, 1966. 300 с.

*This paper reports on the experience in landscape-ecological field research, resulted in building of the mono system information model for geosystems interconnection in the "Komsomolsky" nature reserve, using information theory methods for quantitative calculations. The model is helpful in the analysis of basic external and internal links between the reserve ecosystems structural-functional characteristics, along with edificators, indicators and retransmitters.*

**Keywords:** geosystems, information model, edificators, indicators and retransmitters.