

## ЕСТЕСТВЕННЫЕ МЕХАНИЗМЫ ФОРМИРОВАНИЯ ЭКОСИСТЕМ КОМСОМОЛЬСКОГО ЗАПОВЕДНИКА

П. С. Петренко

Государственный заповедник «Комсомольский», Россия

Поступила в редакцию 27 сентября 2012 г.

**Аннотация:** С помощью теоретико-информационного метода бинарной ординации рассчитаны матрицы совместного распределения геоморфологических, почвенных, фитоценоотических признаков экосистем заповедника «Комсомольский» по 17 геокомпонентным показателям. На этой основе проведен анализ ведущих внутриландшафтных механизмов формирования экосистем заповедника, рассматриваемых на уровне межкомпонентных кибернетических связей.

**Ключевые слова:** экосистема, бинарная ординация, геокомпонентные признаки, экологический оптимум, ландшафт.

**Abstract:** Matrixes of the joint distribution of geomorphological, soil and phytocoenotic features of the «Komsomol'skiy» Reserve's ecosystems were calculated on the base of theoretical and information method of binary ordination. The research was held within 17 geocomponent indicators. Hereon, the analysis of the main intralandscape mechanisms of Reserve's ecosystems formation was carried out. It was done at the level of interelement cyber relationships.

**Key words:** ecosystem, binary ordination, geocomponent features, ecological optimum, landscape.

Государственный природный заповедник «Комсомольский» расположен на зональной границе бореальных и суббореальных ландшафтов. Геосистемы локального уровня здесь находятся в критических состояниях, далеких от оптимума их функционирования и структурной устойчивости, и отличаются повышенной чувствительностью к внешним воздействиям. Такие пограничные ландшафты-экотоны [8] являются благодатными объектами для ландшафтно-экологического мониторинга: изучения внутрисистемных межкомпонентных реакций топогеосистем на внешние воздействия [1, 8].

На основе теоретико-информационного метода бинарной ординации [1, с. 46-52] нами сделана попытка вскрыть основные природные кибернетические механизмы формирования почвенных и фитоценоотических компонентов экосистем заповедника. В настоящей статье излагаются первые результаты, достигнутые в этом направлении.

Объект данного исследования – геосистемы ГПЗ «Комсомольский»; предмет исследования – межкомпонентные (вертикальные) внутриландшафтные связи.

С целью многомерной количественной оценки внутренней структуры геосистем заповедника «Комсомольский» нами были проведены ландшафтно-экологические исследования с заложением 23 пробных площадок (точек). При их закладывании учитывались наиболее типичные для заповедника экосистемы – мелколиственные леса с примесью широколиственных пород (Мл), кедрово-широколиственные и широколиственные леса (Шл), лиственничные и широколиственно-лиственничные леса (ЛиШЛл), темнохвойные елово-пихтовые леса (ЕПл), мохово-сфагновая марь с вересковыми кустарничками на вейниково-осоковых травах (МСМ), скалистые луга (СЛ).

По каждой пробной площади, отвечающей той или иной ландшафтной фации, в итоге получены эмпирические данные, включающие 19 геокомпонентных признаков, объединенных в 5 блоков (таблица). Согласно рекомендаций Э.Г. Коломыц [8, с. 22], каждый количественный и качественный признак подразделен на 4-6 групп, каждой группе присваивался соответствующий балл. Для квантования количественных признаков использована формула (1):

$$i = (x_{max} - x_{min}) / n, \quad (1)$$

Геокомпонентные признаки и градация их состояний в баллах

№	Геокомпонентные признаки	Баллы					
		1	2	3	4	5	6
Геоморфологический блок							
1	Абсолютная высота местности, м	<110	111-220	221-330	551-660	661-780	
2	Угол наклона поверхности, градусы	<10	11-25	26-35	36-50	>50	
3	Тип локального местоположения*	Э	Тэ	А	Та	Саг	
4	Механический состав горных пород**	Га, П, С, Гл	П, Гл	ГлС, А, Пк	ГД, Д, ДП		
Почвенный блок							
5	Мощность горизонта А <sub>1</sub> , см	<9	10-15	16-21	34-38		
6	Мощность гумусового профиля, см	<15	16-25	26-35	36-45	46-60	
7	Мера сложности почвенного профиля, бит	<1,171	1,172-1,536	1,537-1,901	1,902-2,266	>2,267	
8	Механический состав горизонта А <sub>1</sub>	песок	супесь	легкий суглинок	средний суглинок		
Фитоценоотический блок							
9	Глубина проникновения корней травянистых растений, см	10-25	26-40;	41-55	56-70	71-85	
10	Мера флористического разнообразия травяно-кустарничкового яруса, бит	2,396-2,881	2,882-3,366	3,367-3,851	3,852-4,336		
11	Мера флористического разнообразия древесного яруса, бит	<0,7	0,7-1,4	1,401-2,1	2,101-2,802		
12	Сырая надземная фитомасса травостоя, г/м <sup>3</sup>	50-300	301-550	551-800	801-1100	1101-1350	
13	Ценоотические группы	МСМ	ЕПл	ЛиШПл	Мл	Шл	СЛ
Геофизический блок							
14	Температура почвы на глубине 30 см, °С	5-9	9,1-12	12,1-16	16,1-19		
15	Температура почвы на глубине 40 см, °С	5-9	9,1-12	12,1-16	16,1-18		
16	Влажность почвенного горизонта А <sub>1</sub>	мокрая	сырая	влажная	влажноватая	сухая	
17	Вертикальный температурный градиент, °С/см	0,03-0,06	0,06-0,09	0,09-0,12	0,12-0,16		

**Примечание:**

\*Э – элювиальное, Тэ – трансэлювиальное, А – аккумулятивное, Та – трансакумулятивное, Саг – супераккумулятивное.

\*\*Га – галечники, П – песок, С – супесь, Гл – глина, ГлС – глинистые сланцы, А – алевролиты, Пк – песчаники, ГД – гранодиориты, Д – диориты, ДП – диоритовые порфириты

где:  $i$  – величина интервала;  $x_{max}$  – максимальное значение признака в совокупности;  $x_{min}$  – минимальное значение признака в совокупности;  $n$  – число групп. Полученные по формуле (1) значения были округлены до целых чисел.

Сбор фактического материала проводился согласно общепринятых методик полевых ландшафтных исследований [2, 4, 6, 7, 9-12, 14-16]. Данные ландшафтно-геохимического блока получены нами в результате химического анализа над образцами почв с соответствующих точек в лаборатории Комсомольского заповедника [3, 5-10, 12, 13].

С помощью метода бинарной ординации [3, с. 46-52] мы находили экологические ниши состояния изучаемого явления  $A_i$  в множестве состояний данного фактора  $B_i$ . Для этого с помощью матрицы с условной вероятностью  $P$  вычислялись частные коэффициенты связи по формуле:

$$C(A_i/B_i) = \frac{P(A_i/B_i)}{P(A_i)}, \quad (2)$$

где:  $P(A_i/B_i)$  – условная вероятность состояния  $i$  явления  $A$  при конкретном состоянии фактора  $B_i$ ;  $P(A_i)$  – условная вероятность состояния  $i$  явления  $A$ ;  $C(A_i/B_i)$  – коэффициент связи состоя-

ния  $i$  явления  $A$  при конкретном состоянии фактора  $B_i$ .

Связь считается направленной от фактора  $B_i$  к явлению  $A_i$  при  $P(A_i/B_i) > P(A_i)$ , т.е. при  $C(A_i/B_i) > 1$  связь является значимой. Градации фактора с максимальными значениями  $C(A_i/B_i)$  образуют экологический оптимум (обозначается символом «+»), остальные градации относятся к «размытой» части ниши («•»). В области экологического оптимума система наиболее устойчива к внешним воздействиям [3].

В итоге получены матрицы распределения бинарных отношений системы «фактор-явление» (рис. 1-5) для признаков почвенного и фитоценологического геокомпонентных блоков. Ниже изложены основные результаты анализа данных матриц.

Начнем с анализа матриц, где в качестве «явлений» выступали признаки почвенного блока. Одним из исследуемых нами признаков почвы была *мощность гумусового профиля*. Она увеличивается в направлении сверху вниз по ландшафтными катенам. Здесь сказывается ожидаемый процесс гравитационного горизонтального переноса гумуса из более крутых и высоко расположенных

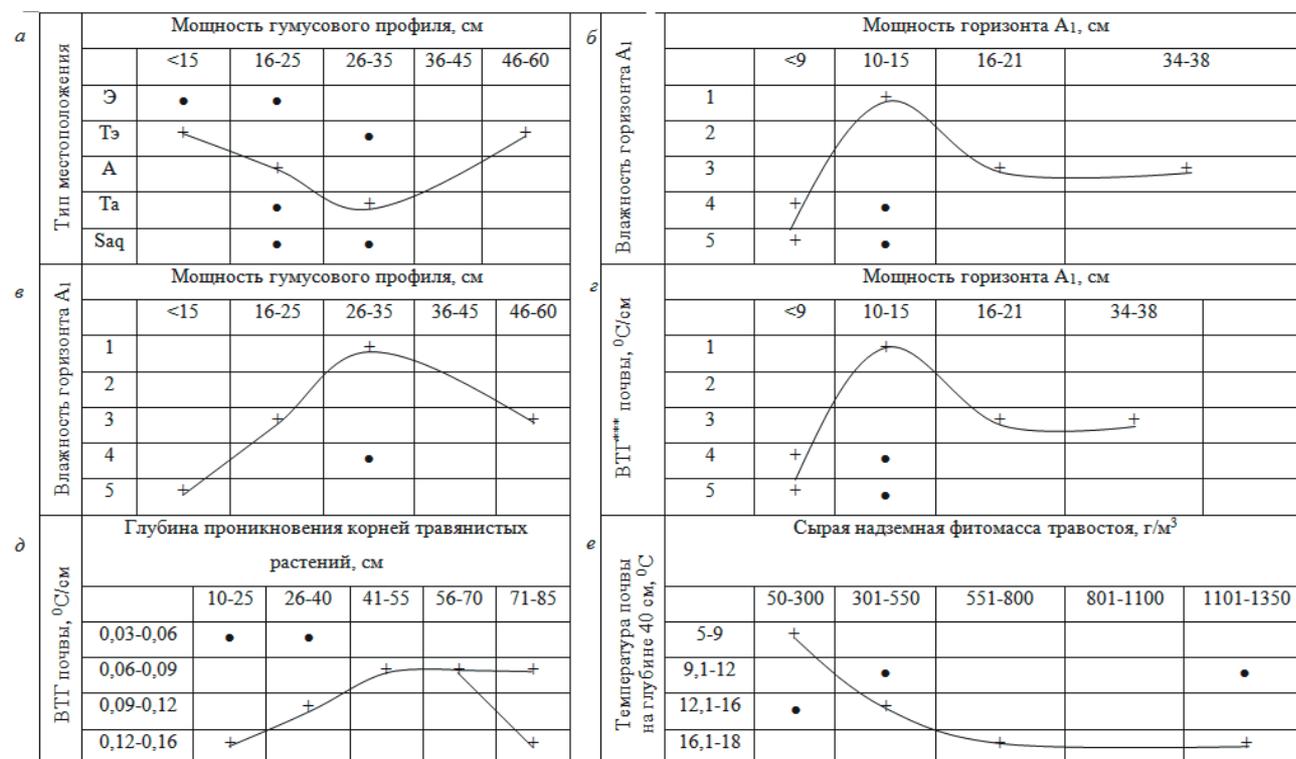


Рис. 1. Бинарная ординация мощности почвенных органогенных горизонтов, а также фитоценологических параметров экосистем по факторам типа местоположения, температуры и влажности почвы. Обозначения факторов см. в таблице

ВТГ\*\*\* – вертикальный температурный градиент

склоновых местоположений в более низкие и выположенные. Из общей тенденции выбивается лишь резкое увеличение мощности гумусового профиля в трансэлювиальном местоположении (рис. 1, а), что можно объяснить преимущественно большим углом наклона поверхности при переходе с элювиального местоположения к трансэлювиальному.

Следующий рассматриваемый признак – *мощность аккумулятивного горизонта*. При большой и средней влажности почвы мощность горизонта наибольшая, нежели в условиях сухой почвы (рис. 1, б, в). В целом, такая зависимость объясняется большим тяготением лиственной растительности, поставляющей гумус в почву, к местам со средними показателями влажности почвы.

Оптимальное развитие мощности гумусоаккумулятивного горизонта тяготеет к наименьшим показателям вертикального температурного градиента почвы (рис. 1, г). Большая мощность органогенного горизонта развивается при наименьших температурных амплитудах. Многие виды травянистых и кустарничковых растений плохо переносят резкие амплитуды температуры почвы, характерные по большей части для горных территорий (рис. 1, д, е; рис. 2, а).

Что касается *меры сложности почвенного профиля*, то наблюдается нечеткая тенденция к усложнению почвенного профиля при возрастании влажности почвы (рис. 2, б).

Перейдем к анализу данных фитоценотического блока. *Корни травянистых растений* достигают наименьшей *глубины* в элювиальных местоположениях (рис. 2, в), что является следствием близко залегающей холодной материнской породы (рис. 2, г, д). Далее, при смене типа местоположения с элювиального на трансэлювиальный, глубина проникновения корней травянистых растений начинает увеличиваться. Закономерно, что для суперэлювиальных местоположений характерна наибольшая глубина проникновения корней, видимо, потому что корни луговой пойменной и болотной растительности проникают достаточно глубоко в аллювиальную почву.

*Мера разнообразия травяно-кустарничкового яруса* нечетко коррелирует с температурой почвы на глубине 30 см (рис. 2, е). В целом, прослеживается тенденция к увеличению меры разнообразия с ростом температуры почвы. Соответственно наибольшие и средние показатели температуры дают больший спектр для разнообразия травяно-кустарничковой растительности.

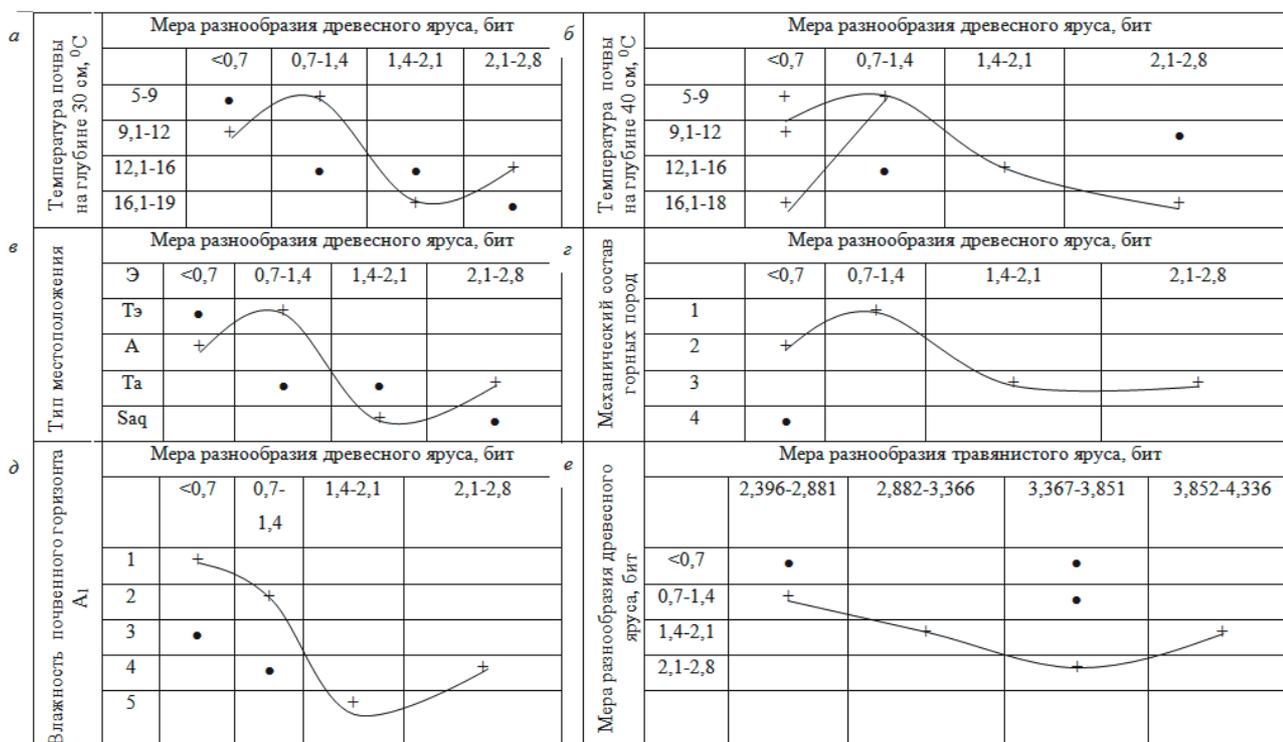


Рис. 2. Распределение меры разнообразия древесного и травянистого ярусов в пространстве геоморфологических и геофизических факторов

Подобная закономерность наблюдается в древесном ярусе: большим значениям температуры соответствует большее разнообразие (рис. 3, а) Еще более четкая зависимость *меры разнообразия древостоя* от температуры почвы проявляется на глубине 40 см (рис. 3, б). При близком к минимальному значению температуры почвы на глубине 30 см древесное разнообразие начинает постепенно уменьшаться и подходить к своему пессимуму. Причем такое поверхностное похолодание почвы было характерно для горных и супераквальных ландшафтов.

Наибольшие показатели меры разнообразия древесного яруса характерны для аккумулятивно-го и трансэлювиального местоположений (рис. 3, в). В первом случае большую роль сыграла наиболее гумусированная почва с ее стабильным увлажнением. Второй случай характерен для склоновых местоположений, где косвенно мог проявить себя фактор экспозиций склонов. Наименьшее разнообразие характерно для аллювиальных и болотных ландшафтов, где произрастает экологически «узкий» набор древесных пород (ивы, березы), либо древесный ярус находится в пессимальных условиях в связи с переувлажнением. Об этом говорит и зависимость разнообразия деревьев от механи-

ческого состава коренных пород (рис. 3, з). Так, на песчаных и глинистых речных и озерных отложениях разнообразие древостоя минимальное. Оно начинает возрастать лишь на отложениях глинистых сланцев и песчаников, характерных для низкорной части заповедника «Комсомольский», занимающей его большую площадь.

Как известно, на песчаных и суглинистых почвах произрастают хвойные породы деревьев, что резко ограничивает меру разнообразия древостоя. В тоже время хвойные деревья наряду с лиственными могут произрастать и на более плодородных почвах.

Мера разнообразия древесного яруса обратно пропорциональна влажности почвы (рис. 3, д). Высокая влажность почвы, характерная для болотных и пойменных ландшафтов, что резко снижает разнообразие древесной растительности, нередко до полного ее отсутствия (в случае болот) (рис. 3, в).

Отметим прямую зависимость мер разнообразия древесного и травяно-кустарничкового ярусов друг от друга (рис. 3, е; рис. 4, а). Скорее всего, здесь может идти речь об их практически идентичной зависимости от определенного набора внешних факторов, главные из которых тип местоположения, влажность почвы, экспозиция склона, если они относятся к возвышенностям. Здесь так-

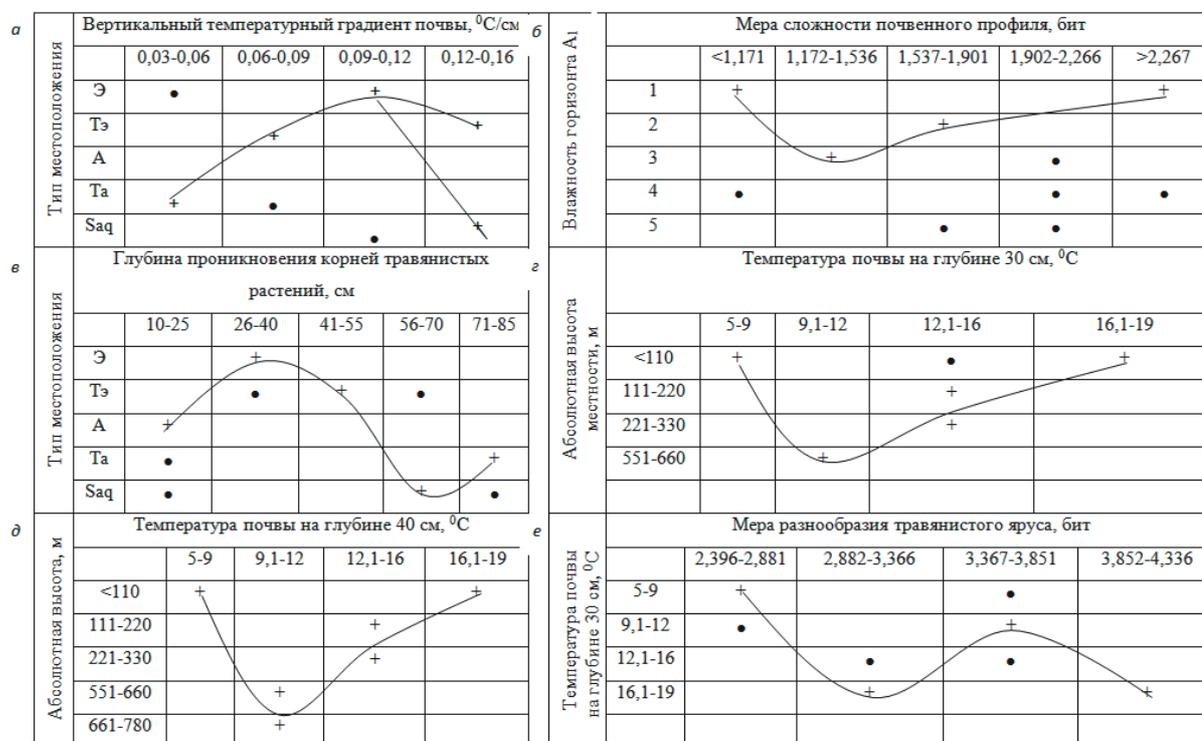


Рис. 3. Бинарная ординация термических и структурных показателей почвы, а также фитоценологических признаков по геоморфологическим и геофизическим факторам

же сказывается привязанность некоторых видов травянистых и кустарничков к особым породам деревьев и затененности, создаваемой ими.

Чувствительность травостоя к температурным колебаниям в почве можно проследить по рисунку 1, *е*, где *надземная фитомасса* возрастает по мере увеличения температуры почвы на глубине 40 см. В то время как на графике (рис. 4, *б*) мы видим обратно пропорциональную зависимость продукции надземной сырой фитомассы травостоя от глубины его корней. Все это подтверждает известное положение о том, что с ухудшением внешних условий развитие надземных фракций ослабевает, а подземных увеличивается (рис. 2, *а*).

Проследим зависимость *ценотических группировок* и ландшафтного местоположения (рис. 4, *в*, *з*). Мохово-сфагновая марь и мелколиственные леса, в основном березняки и осинники, тяготеют к переувлажненным супераквальным ландшафтам. Широколиственные леса и скалистые луга достигают своего экологического оптимума на скалистых склонах, что преимущественно связано с южной экспозицией, позволяющей получить максимум солнечной радиации. Последнее, вместе с интенсивным стоком оказывает осушающий эффект на почву, что создает благоприятные условия для развития указанных биоценозов (рис. 4,

*е*). Хвойные леса приурочены к аккумулятивному типу местоположения с обильным увлажнением за счет стекающих сверху натечных вод, способствующих образованию подзолистого почвенного горизонта.

Перейдем к анализу связей термических показателей почвы (рис. 5, *а, б*) с типами фитоценозов. Своего экологического оптимума елово-пихтовые и лиственнично-широколиственные леса, болотные фитоценозы и скалистые луга достигают при диапазоне температуры почвы 5-12 °С. При этом хвойные леса толерантны и к более высоким температурным показателям – 12-19 °С, в то время как для произрастания лиственных лесов это оптимальная температура.

Далее, проследим как изменяется мощность гумусового профиля в различных типах фитоценозов (рис. 5, *в*). Максимального развития гумусовый профиль достигает на мохово-сфагновой мари, где процесс гумификации проявляется особенно сильно. Значительной мощности гумусовый профиль формируется в широколиственных лесах, для почв которых характерны мощный лиственный опад и оптимальное развитие сырой надземной фитомассы травостоя (рис. 5, *з*). Наименее развит гумусовый профиль в мелколиственных вторичных, хвойно-широколиственных и хвойных лесах.

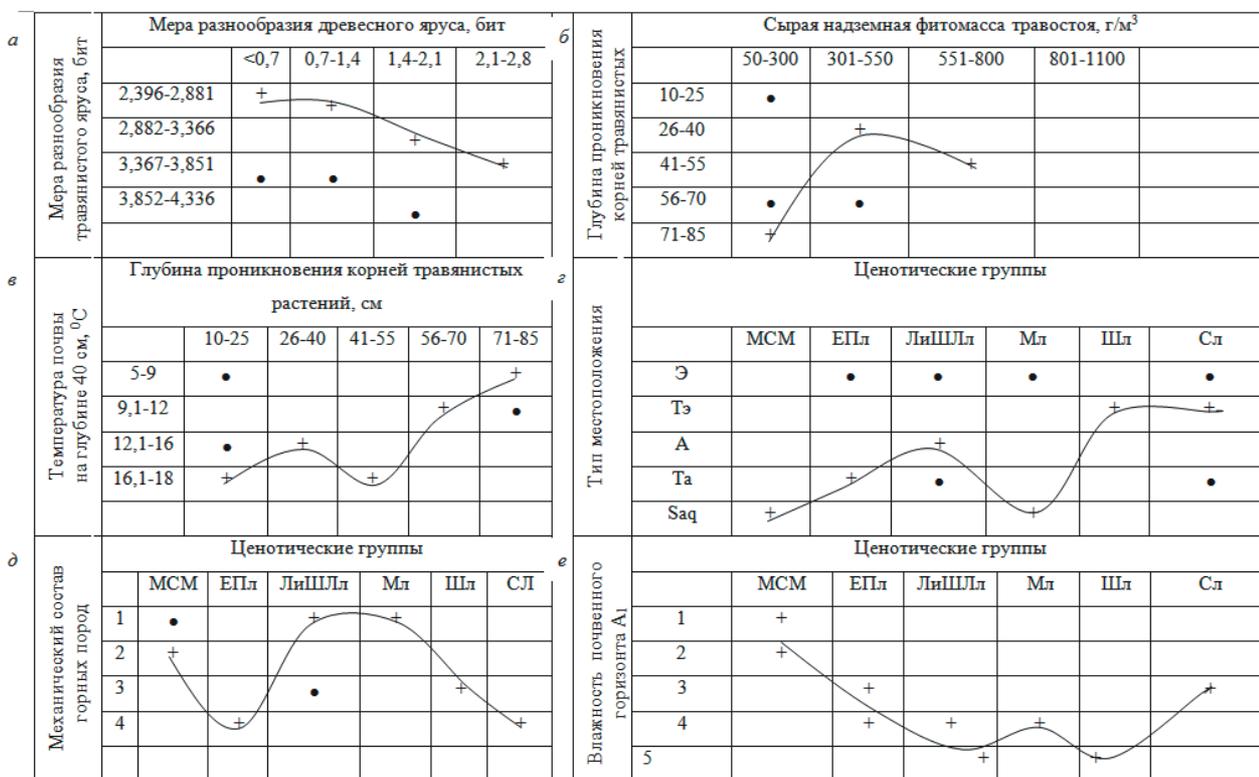


Рис. 4. Экологические ниши фитоценологических характеристик экосистем Комсомольского заповедника

В последних образование гумуса затрудняется опадом хвои. Маломощный гумусовый профиль скалистых лугов с небольшой фитомассой травостоя и отсутствием древесного яруса объясняется близким залеганием и выходом коренных пород.

Наибольшего флористического разнообразия травяно-кустарничковый ярус достигает в широколиственных и хвойно-широколиственных лесах, почвы которых обеспечены гумусом. В елово-пихтовых и вторичных мелколиственных лесах разнообразие видов трав резко снижается, достигая своего минимума на болотах и скалистых лугах (рис. 5, д). В случае хвойных лесов главной причиной этого является мор почвы из-за опад хвои, а также глинистые и песчаные отложения, характерные для данного типа экосистемы. Для болот и лугов минимальное разнообразие травостоя объясняется «узким» набором видов растений, способных произрастать в подобных специфических условиях – засушливость, повышенная солнечная радиация, выходы коренных пород (для скалистых лугов), избыточная увлажненность и повышенная кислотность почвы (для болот).

Видовое разнообразие древостоя наиболее значительно в широколиственных лесах, и, как ни странно, в елово-пихтовых, где к фоновым видам примыкают единичные экземпляры черемухи Маака, сосны корейской, рябины амурской, некото-

рые виды дальневосточных берез и другие (рис. 5, е). Подобное явление подтверждает теорию экотона для территории Комсомольского заповедника, когда к доминирующим представителям северной флоры примыкают южные элементы.

Минимальное флористическое разнообразие древостоя вплоть до его полного отсутствия на болотах и скалистых лугах.

Таким образом, рассмотренные признаки почвенного и фитоценотического геокомпонентных блоков наиболее восприимчивы к типу местоположения и гидротермическим показателям почвы. Причем, критические показатели последних достаточно четко индицируют те или иные состояния признаков. Так, показатели мощности гумусового профиля и глубины проникновения корней травянистых растений максимальные на суперэквальных ландшафтах, для которых характерна сравнительно высокая амплитуда колебания температуры почвы с глубиной, и минимальные – на элювиальных, с низкими температурными колебаниями почвы.

Как продуктивность, так и разнообразие травостоя напрямую зависят от температуры почвы.

Мера разнообразия древесного яруса понижается с возрастанием влажности и снижением температуры почвы. Данный показатель довольно точно определяется механическим составом пород –

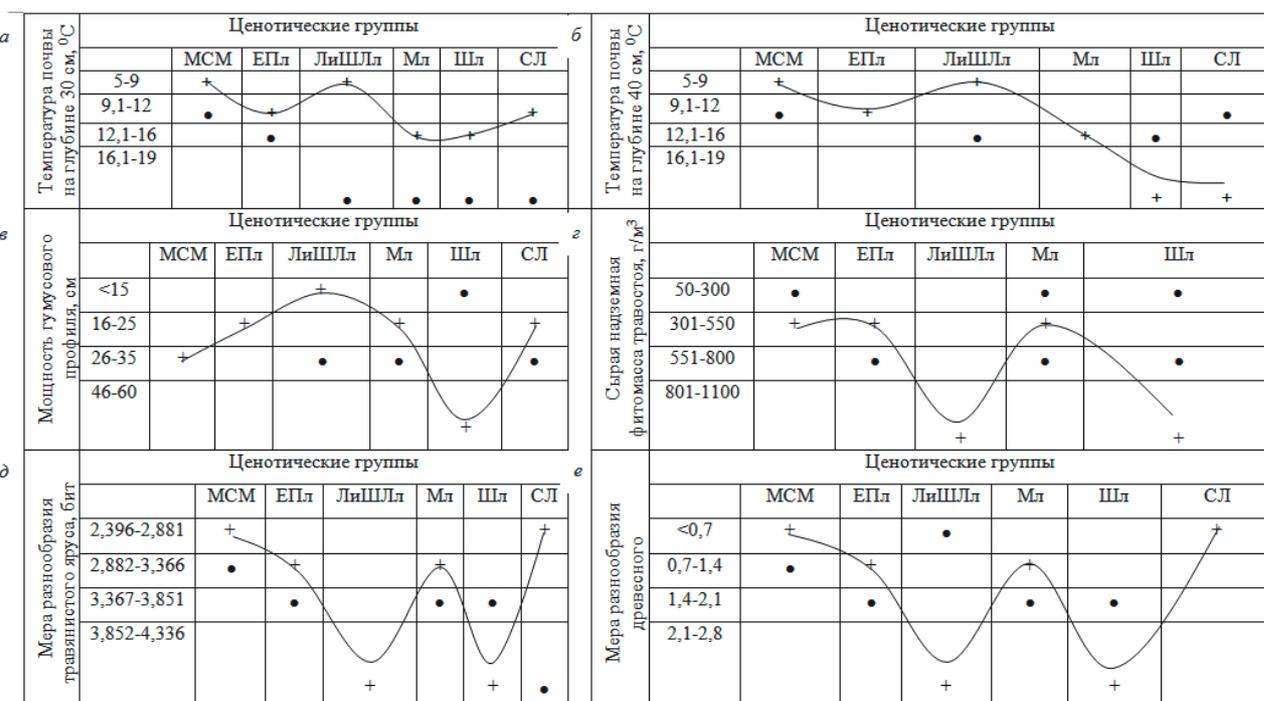


Рис. 5. Распределение ценологических групп в пространстве геофизических, фитоценологических и почвенных факторов

на аллювиальных отложениях он гораздо ниже, нежели в горной части заповедника.

Тоже касается и ценогических признаков. Переувлажненность почвы в комплексе с супераквальным местоположением на галечниках, песках и глинах, а также низкой температурой почвы индицирует болотные экосистемы и мелколиственные леса; трансэлювиальное местоположение на гранодиоритах и диоритах при пониженной температуре почвы – елово-пихтовые леса, а при более высокой температуре, обусловленной южной экспозицией склона, – скалистые луга и широколиственные леса; к аккумулятивному местоположению тяготеют лиственничники, которые толерантны к низкой температуре почвы.

Учитывая вышесказанное, можно предположить, что при значительных антропогенных или естественных изменениях гидротермических показателей почвы последуют изменения в почвообразовательных процессах, которые, в конечном счете, скажутся на видовом составе растительности, а значит и на экосистемах в целом. Беря во внимание пограничное положение Комсомольского заповедника, следует говорить о повышенной чувствительности к внешним воздействиям и неустойчивости топогеосистем, что предопределяет возникновение многочисленных проблем охраны ландшафтов и научных подходов к их разрешению.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Арманд Д. Л. Наука о ландшафте / Д. Л. Арманд. – Москва : Мысль, 1975. – 288 с.
2. Беручашвили Н. Л. Методика ландшафтно-геофизических исследований и картографирования состояний природно-территориальных комплексов / Н. Л. Беручашвили. – Тбилиси : Издательство Тбилисского университета, 1983. – 200 с.
3. Высокогорная геоэкология в моделях / М. Ч. Залиханов [и др.]. – Москва : Наука, 2010. – 488 с.

Петренко Полина Сергеевна  
аспирант, научный сотрудник ФГБУ «Государственный заповедник «Комсомольский», Хабаровский край, г. Комсомольск-на-Амуре, тел./ факс (4217) 54-40-14, 8-924-225-05-85, E-mail: [petrenkopolina8710@mail.ru](mailto:petrenkopolina8710@mail.ru)

4. Добровольский Г. В. География почв / Г. В. Добровольский, И. С. Урусевская. – Москва : КолосС, 2004. – 460 с.

5. Добровольский В. В. Лабораторные работы по географии почв с основами почвоведения / В. В. Добровольский. – Москва : Просвещение, 1973. – 143 с.

6. Дьяконов К. Н. Современные методы географических исследований / К. Н. Дьяконов, Н. С. Касимов, В. С. Тикунов. – Москва : Просвещение, 1996. – 207 с.

7. Ефимова Н. А. Радиационные факторы продуктивности растительного покрова / Н. А. Ефимова. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1977. – 216 с.

8. Коломыц Э. Г. Количественный анализ межкомпонентных ландшафтных связей методами теории информации (методические рекомендации) / Э. Г. Коломыц. – Горький : Горьковский государственный педагогический институт, 1987. – 59 с.

9. Комплексная полевая практика по физической географии : учебное пособие / К. В. Пашканг [и др.]. – Москва : Высшая школа, 1986. – 208 с.

10. Музафаров В. Г. Определитель минералов, горных пород и окаменелостей / В. Г. Музафаров. – Москва : Недра, 1979. – 327 с.

11. Определитель растений Приморья и Приамурья / Д. П. Воробьев [и др.]. – Москва ; Ленинград : Наука, 1966. – 493 с.

12. Полевые практики по географическим дисциплинам : учебное пособие / В. А. Исаченков [и др.]. – Москва : Просвещение, 1980. – 224 с.

13. Прожорина Т. И. Химический анализ почв / Т. И. Прожорина, Е. Д. Затулей. – Воронеж : Издательско-полиграфический центр Воронежского государственного университета, 2008. – Ч. 1. – 31 с.

14. Розанов Б. Г. Морфология почв : учебник для высшей школы / Б. Г. Розанов. – Москва : Академический проект, 2004. – 432 с.

15. Тильянова А. А. Биологическая продуктивность травяных экосистем. Географические закономерности и экологические особенности / А. А. Тильянова, Н. И. Базилевич, В. А. Снытко. – Новосибирск : Наука, 1988. – 134 с.

16. Ханвелл Дж. Методы географических исследований / Дж. Ханвелл, М. Ньюсон. – Москва : Прогресс, 1977. – 392 с.

Petrenko Polina Sergeyevna  
Postgraduate student, researcher of the FSBI «State Reserve «Komsomol'sky», Khabarovskiy Krai, Komsomol'sk-on-Amur, tel. (4217)54-40-14, 8-924-225-05-85, E-mail: [petrenkopolina8710@mail.ru](mailto:petrenkopolina8710@mail.ru)