

ВЛИЯНИЕ АБИОТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ СРЕДЫ НА ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ЛЕСНЫХ СООБЩЕСТВ ЗАПОВЕДНИКА «КОМСОМОЛЬСКИЙ»

П. С. Петренко

Государственный природный заповедник «Комсомольский», Россия

Поступила в редакцию 22 января 2015 г.

Аннотация: Статья посвящена анализу функционирования лесных сообществ заповедника «Комсомольский», находящегося на границе бореальных и суббореальных лесных экосистем. С помощью методов информационного моделирования раскрываются основные механизмы влияния абиотических факторов среды на фитомассу и продуктивность лесных топогеосистем на локальном уровне.

Ключевые слова: лесное сообщество, лесная топогеосистема, информационное моделирование, фитомасса, продуктивность, абиотические факторы среды.

Abstract: The article is devoted to the analyses of forest communities functioning in «Komsomolskiy» Reserve, which is situated on the board of boreal and sub boreal ecosystems. With the use of information modeling methods the main mechanisms of abiotic environmental factors influence on phytomass and productivity of forest topogeosystems on the local scale.

Key words: forest community, forest topogeosystem, information modeling, phytomass, productivity, abiotic environmental factors.

Комсомольский государственный природный заповедник занимает юго-западную часть Нижне-Амурской орографической группы [16] с преобладающим низкогорным рельефом и северо-восточный участок Средне-Амурской равнины. Кроме того, площадь заповедника занимает пограничное положение между двумя флористическими областями – Бореальной и Восточноазиатской [5] – и относится к системе зональных географических экотонов, по определению [11]. Такие условия способствуют формированию на этой территории как типичных для данной местности лесных сообществ (елово-пихтовые, лиственничные, широколиственные леса), так и буферных (смешанных) (кедрово-елово-широколиственные, широколиственно-лиственничные леса) отличающихся наибольшим видовым многообразием и богатством. Изучение структуры и функционирования лесных сообществ в зоне перехода от южной тайги к широколиственным лесам, позволяет вскрыть основные механизмы их моносистемной организации, с помощью

которых раскрываются элементарные процессы геоэкотонизации [4] на локальном уровне.

В статье анализируется влияние основных абиотических факторов среды на биомассу и продуктивность лесных сообществ.

На территории заповедника «Комсомольский» выделяется три вида ландшафтов, по классификации [17]. Территориально преобладают ландшафты низкогорных и среднегорных хребтов и массивов со среднетаежными елово-пихтовыми лесами. Меньшую по площади часть заповедника занимают ландшафты аллювиальных низменностей суженных участков долины Амура с широколиственными лесами и межгорные низменные равнины с болотами и разреженными лиственничными лесами (марями).

В течение трех полевых сезонов (2011-2012, 2014 годы) здесь были проведены ландшафтно-экологические исследования на топологическом уровне с заложением и описанием почвенных профилей, геоботанических площадок, измерением температуры почвы – по известным методикам полевых ландшафтных работ [3, 8, 10]. В итоге было

заложено 65 пробных площадей в различных типах локальных местоположений – геотопах, по определению [14]. Геотопы образуют систему местных ландшафтных сопряжений [7], или катен, – от элювиальных и трансэлювиальных типов местоположений до аккумулятивных и супераккумулятивных.

Анализ материала проведен с помощью методов теории информации, которые уже доказали свою эффективность при изучении межкомпонентных ландшафтных связей [1, 9, 12, 20, 23]. Были использованы два основных параметра информационно-статистических связей: нормированный коэффициент сопряженности $K(A;B)$ явления A (зависимой переменной) с фактором B (в каждой паре признаков) и частный коэффициент связи $C(a_i/b_j)$ градаций a_i и b_j этих признаков. Упорядоченная совокупность значений $K(A;B)$ позволяет определить, что от чего зависит и насколько. Данный коэффициент рассчитывается по формуле [20]:

$$K(A;B) = \frac{2^{T(AB)} - 1}{2^{H(\min A,B)} - 1},$$

где $2^{T(AB)}$ есть число общих состояний A и B , а $H(A)$ и $H(B)$ – общая мера разнообразия (априорная энтропия), соответственно, признаков A и B .

По второму параметру проводился ординационный (градиентный) анализ бинарных отношений различных признаков. С этой целью устанавливалась система экологических ниш каждого значения (градации) a_i явления A в пространстве значений b_j фактора B . Экологическая ниша рассматриваемого явления есть область его распространения в одном из пространств того или иного экологического фактора. Частный коэффициент связи рассчитывается по формуле [1]:

$$C(a_i/b_j) = \frac{p(a_i/b_j)}{p(a_i)},$$

где $p(a_i/b_j)$ – условная вероятность a_i по b_j , а $p(a_i)$ – априорная вероятность данной градации явления A в предположении его полной независимости от фактора B , когда $p(a_i/b_j) = p(a_i)$. Проведенный нами прямой градиентный анализ экологических ниш соответствует известному в геоботанике и ландшафтной экологии методу ординационного анализа [21, 22]. Связь считается значимой при $C(a_i/b_j) > 1$. Градации фактора с максимальными значениями $C(a_i/b_j)$ образуют экологический оптимум (обозначается символом «+»), остальные градации относятся к «размытой» части ниши (символ «•»). В области экологического оптимума система рассматривается как наиболее устойчивая к внешним

воздействиям. Кривая, проведенная через экологические доминанты явления, дает общую картину его ординации по данному фактору. При наличии в векторе-столбце экологической ниши двух отстоящих друг от друга доминантов между ними образуется «зона» толерантности – неустойчивого равновесия (обозначается заштрихованной областью).

Направление связей определялось, исходя из известных представлений о характерных временах различных природных компонентов [2]. В дальнейшем для уточнения всей системы направлений связей рассчитывались коэффициенты приема $K(B/A)$ и передачи информации $K(A/B)$, по [1]. При $K(B/A) > K(A/B)$ принималось, что преобладает входное воздействие от B к A , а при $K(B/A) < K(A/B)$ – воздействие выходное от A к B ; при $K(B/A) \approx K(A/B)$ считалось, что признаки A и B в равной мере воздействуют друг на друга.

На втором этапе были получены матрицы частных коэффициентов связи, т.е. бинарных отношений системы «фактор-явление», с помощью которых производилось «раскрытие кода информации», по терминологии [20].

На первом этапе была построена информационная модель – ориентированный граф межкомпонентных ландшафтных связей, отражающая функционирование топогеосистем заповедника (рис. 1). Модель демонстрирует упорядоченную количественную зависимость геокомпонентных признаков друг от друга. Направление связей показано стрелками (от фактора к явлению). Толщина стрелки соответствует «силе» связи.

Наиболее сильные связи отмечены между продуктивностью леса и абиотическими факторами. Так, годовая продукция зеленой массы определяется прежде всего влажностью почвы, годичный прирост скелетной фитомассы – солерной экспозицией склона, а общая годовая продукция леса – крутизной склона $K(A;B)$ равно 0,25, 0,18 и 0,22 соответственно. На распределение различных типов фитомассы абиотические факторы также оказывают существенное влияние, но гораздо меньшее по силе в сравнении с продуктивностью ($K(A;B) = 0,11-0,14$). Так, скелетная древесно-кустарниковая фитомасса, как и продуктивность, определяется солерной экспозицией склона, общей зеленой массой – крутизной склона и влажностью почвы. Общая живая надземная фитомасса также находится в сильной зависимости от всех перечисленных признаков, включая механический состав почвообразующих пород.

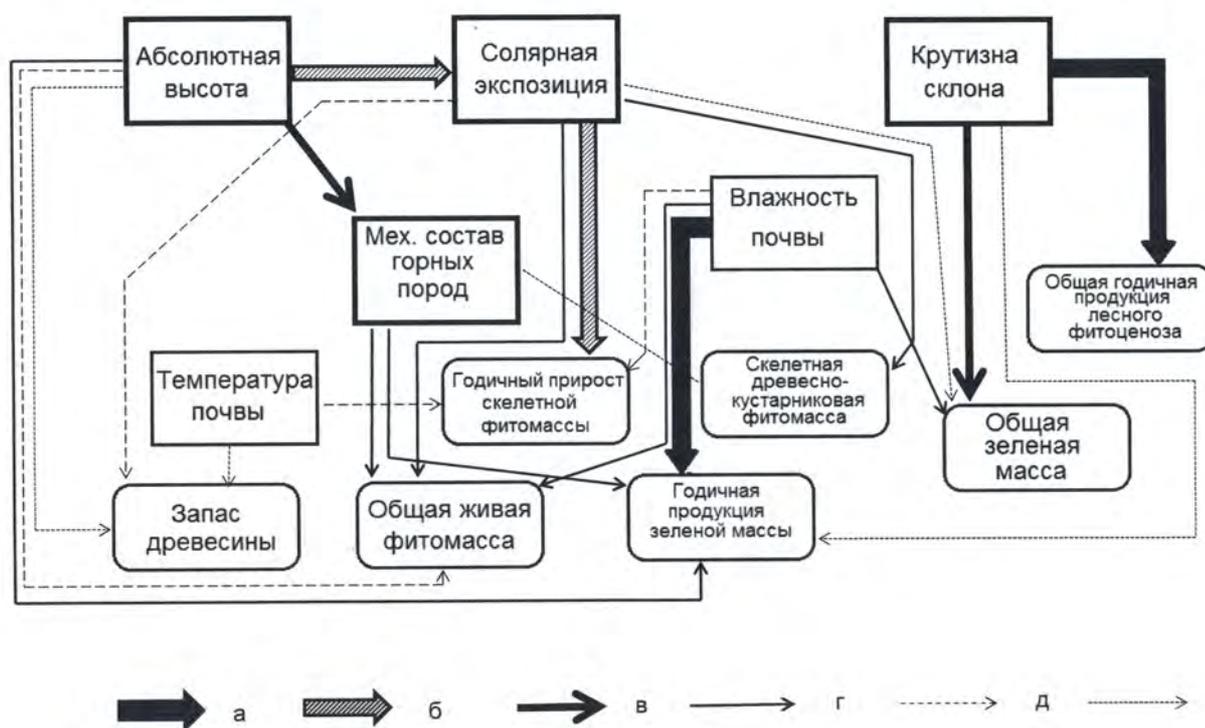


Рис. 1. Информационная модель влияния абиотических факторов среды на функционирование лесных топогеосистем заповедника «Комсомольский». Нормированные коэффициенты сопряженности признаков $K(A;B)$: $a \geq 0,201$; $b - 0,171-0,2$; $v - 0,141-0,17$; $г - 0,111-0,14$; $д - 0,091-0,11$; $е - 0,071-0,09$

Во время проводимого анализа из числа абиотических признаков были исключены тип местоположения (положение на склоне при движении по нему сверху вниз) и барьерная экспозиция склона (расположение склона по отношению к основным потокам воздушных масс), так как они оказывают несущественное влияние на функциональные фитоценологические параметры. Эти факторы частично характеризуют дислокационную зональность, выявленную Гарцманом [6] и характерную для средневысотных гор Дальнего Востока. Однако ее проявление мы обнаружили лишь при оценке структурной организации лесных сообществ заповедника [18].

В первую очередь была построена общая информационная модель межкомпонентных ландшафтных связей лесных топогеосистем Комсомольского заповедника (рис. 1), отражающая их функционирование. Подробно на парциальных моделях рассмотрено как локальные физико-географические факторы влияют на распределение биомассы и продуктивности лесных сообществ (рис. 2-4). Наибольшее влияние на функционирование лесных сообществ оказывает крутизна склона ($K(A;B) = 0,9-0,29$). Максимальных значений фитомасса и годовичная продукция достигают на

крутых склонах с углом наклона $31-47^\circ$. При таких параметрах угол падения солнечных лучей стремится к прямому. При этом, как известно, поверхность земли получает наибольшее количество солнечной энергии, что способствует развитию фитомассы. На очень крутых склонах ($47-60^\circ$), несмотря на хорошую прогреваемость, близость к поверхности земли охлаждающих коренных пород и маломощность почвенного горизонта способствует снижению фитомассы. Так, например, общая масса подроста и подлеска на склоне с углом наклона $31-47^\circ$ достигает $1,5-2,6$ т/га, а в пределах $47-60^\circ$ $0,52-0,95$ т/га (рис. 2а). Такая тенденция по распределению фитомассы сохраняется и для остальных растительных ярусов. Лишь максимум годовичной продукции фитоценоза сдвигается к склонам средней крутизны и пологим склонам: при $16-31^\circ$ достигается $11-13,83$ т/га (рис 2б).

Соляная экспозиция склона, т.е. направление склона по отношению к сторонам света, также является важным средообразующим фактором (в среднем $K(A;B) = 0,11$). При распределении всех категорий фитомассы и годовичной продуктивности наблюдается тенденция, при которой на южных солнцепечных склонах достигаются предельно высокие показатели. В тоже время на западных и

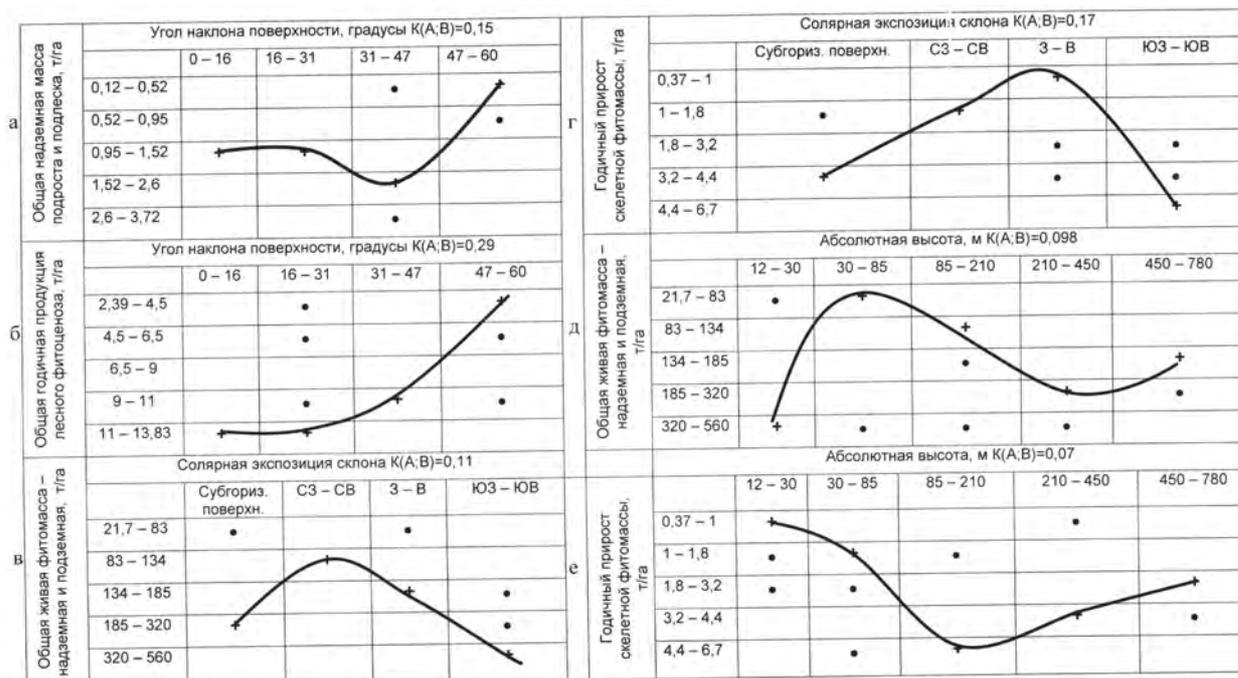


Рис. 2. Распределение продуктивности и фитомассы лесных сообществ в пространстве локальных геоморфологических факторов

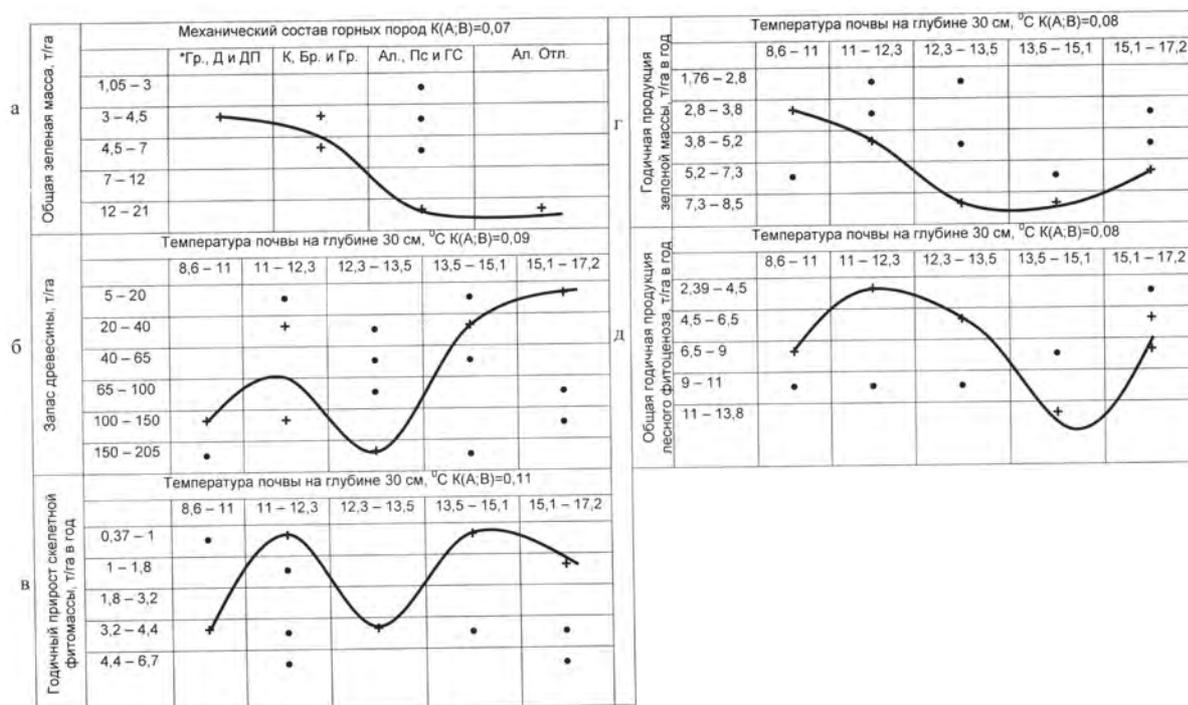
восточных склонах продуктивность и фитомасса сильно снижается. На пологих поверхностях она колеблется в различных пределах. Например, скелетная древесно-кустарниковая фитомасса на склонах ЮЗ-ЮВ направлений достигает 320-560 т/га, на запад-восток – 134-185 т/га, на субгоризонтальных поверхностях – 185-320 т/га (рис. 2в). Интересно отметить, что «солнцепечность» еще с большей силой влияет на годовую продуктивность ($K(A;B) = 0,17$) (рис. 2г).

Заповедник «Комсомольский» занимает средне- и низкогорья с максимумом высот до 780 м, в связи с этим абсолютная высота не является столь сильным фактором, оказывающим влияние на местную растительность. Так, средняя $K(A;B)$ влияния высоты на продуктивность и фитомассу составляет от 0,07 до 0,11. Тем не менее, такое влияние является существенным. Общая живая фитомасса лесных сообществ распределяется следующим образом (рис. 2д): у подножия склона, а также на надпойменных террасах, где почва богата минеральными и гумусовыми питательными веществами, на высоте 12-30 м наблюдаются наибольшие значения фитомассы – 320-560 т/га. С увеличением высоты от 30 до 210 м количество фитомассы резко снижается до минимума – 21,7-83 т/га. При дальнейшем увеличении высоты до 450-780 м количество фитомассы вновь возрастает до 185-320 т/га. Именно на этих высотах угол наклона

поверхности становится крутым, что способствует хорошему прогреванию поверхности земли, а значит и возрастанию количества фитомассы. При распределении годичной продуктивности фитомассы максимальные показатели вновь смещаются на одну «ступень» вниз, достигая своего максимума в пределах 85-450 м (рис 2е).

Механический состав почвообразующих пород не является существенным фактором, влияющим на продуктивность и биомассу фитоценозов ($K(A;B) = 0,08-0,09$). Он больше сказывается на видовом распределении растений, в особенности травянистых. Однако же механический состав пород определяет также степень их близости к поверхности земли, что в свою очередь отражается на мощности и температуре корнеобитаемого слоя почвы. Последние два признака имеют важное значение для продуктивности и фитомассы фитоценозов. Так, общая зеленая масса лесных сообществ в местах с залеганием речных и озерных отложений с хорошо развитым почвенным профилем и богатой минеральными веществами почвой будет максимальна – 12-21 т/га (рис. 3а). Небольших значений она достигает на конгломератах, брекчиях и гравелитах – 3-4,5 т/га.

Гидротермические условия почвы на таких пограничных (экотонных) территориях как заповедник «Комсомольский» являются важнейшими передаточными звеньями между геоморфологичес-



*Гр, Д и ДП – гранодиориты, диориты и диоритовые порфириды; К, Бр и Гр – конгломераты, брекчии и гранодиориты; Ал, Пс и ГС – алевролиты, пески и глинистые сланцы; Ал. Отл. – аллювиальные отложения

Рис. 3. Распределение продуктивности и фитомассы лесных сообществ в пространстве механического состава горных пород и температуры почвы

кими факторами среды и лесными сообществами. Примечательно, что температура почвы не оказывает существенного влияния на распределение биомассы лесов, однако хорошо отражается на их продуктивности ($K(A;B) = 0,08-0,11$). Так из категорий фитомассы распределение тепла в почве существенно влияет лишь на запас древесины (рис. 3б). Наиболее комфортный промежуток температуры почвы на глубине 30-40 см, при котором достигается максимальный запас древесины 150-205 т/га, является 8,6-13,5 °С. При дальнейшем повышении температуры запас древесины начинает резко снижаться.

Пределы комфортности температуры почвы при распределении годичной продукции фитоценозов резко различаются по растительным ярусам. Максимальный годичный прирост скелетной древесно-кустарниковой фитомассы 3,2-4 т/га формируется в пределах 8,6-11 и 12,3-13,5 °С (рис. 3в), а для годичной продуктивности зеленой массы этот промежуток составляет 12,3-17,2 °С, при котором достигается 7,3-8,5 т/га фитомассы (рис. 3г). При распределении общей годичной продуктивности лесного фитоценоза максимум продукции 9-11 т/га развивается в пределах 13,5-15,1 °С (рис. 3д).

Влажность почвы – важнейший признак, определяющий фитомассу и продуктивность фитоценоза. В целом сохраняется тенденция, при которой максимальное количество фитомассы и годичной продуктивности лесных сообществ достигается при недостаточном и среднем увлажнении почвы. Рассмотрим подробнее это на примерах. Наибольшие запасы древесины наблюдаются при сухом состоянии почвенного горизонта A_1 и влажном A_2 – 150-205 т/га (рис. 4а, б). Скелетная древесно-кустарниковая фитомасса максимальна при умеренной влажности почвенных горизонтов A_1 и A_2 – 265-437 т/га (рис. 4в, г). При уменьшении и увеличении влажности почвы показатели фитомассы резко снижаются. Годичная продуктивность скелетной древесно-кустарниковой (рис. 4д) и зеленой массы (рис. 4е) достигает своих максимальных значений при умеренной и недостаточной увлажненности почв – 4,4-8,5 т/га и 11-13,8 т/га соответственно.

На основе проведенного моносистемного информационного моделирования лесных топогеосистем заповедника «Комсомольский» мы выяснили, что наибольшее влияние на функционирова-

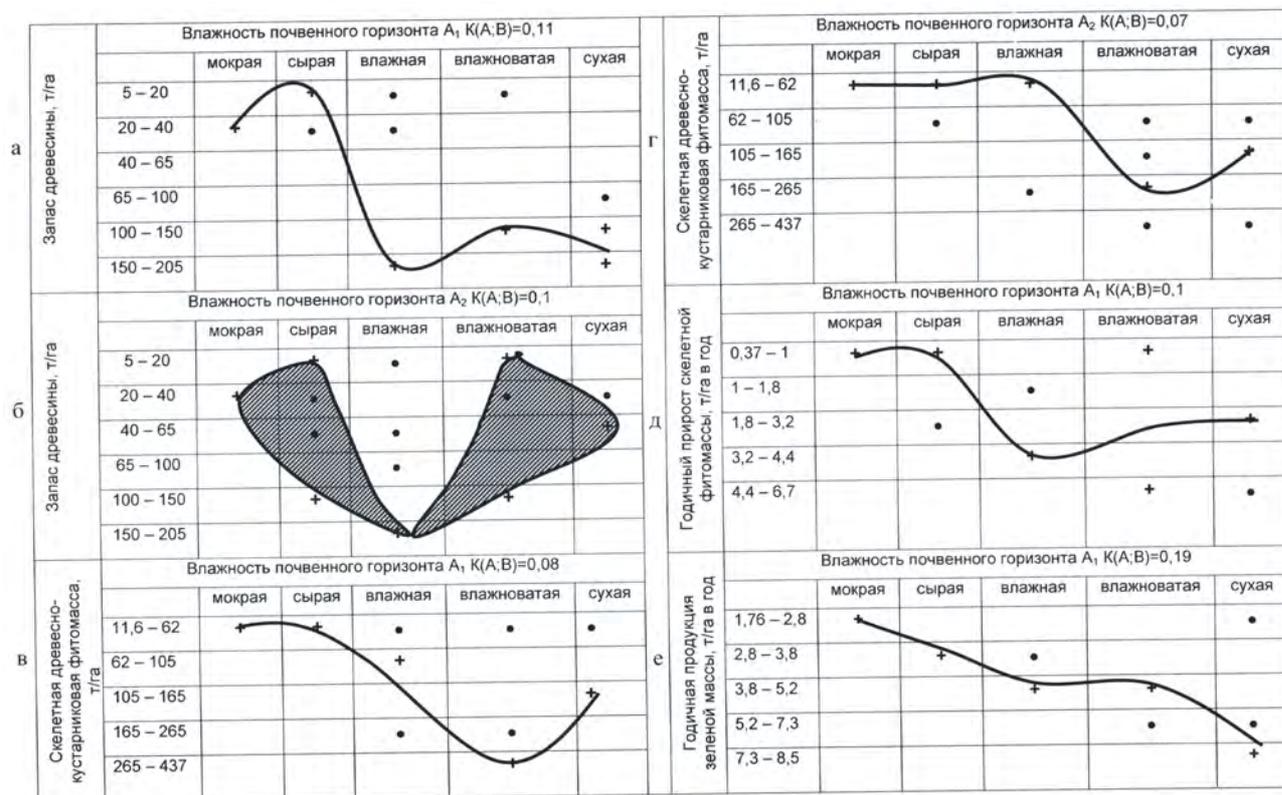


Рис. 4. Распределение продуктивности и фитомассы лесных сообществ в пространстве влажности почвы

ние лесных сообществ оказывают такие абиотические факторы среды как крутизна и соллярная экспозиция склона, а также влажность почвы. В комплексе эти признаки характеризуют гидротермические условия топогеосистем, так как первые два фактора отвечают за получение растительностью солнечной радиации.

Результаты анализа подтвердили положение [13, 15, 19] о том, что на локальном уровне природно-территориальной дифференциации гидротермические факторы являются ведущими и служат основными передаточными звеньями между климатом и растительностью. Для пограничных территорий, относящихся к геоэкотонам, эти два признака являются особенно значимыми. В зависимости от распределения тепла и влаги в почве происходит взаимопроникновение с севера и с юга различных древесно-кустарниковых пород и травянистых растений. С помощью парциальных моделей удалось выяснить наиболее оптимальные условия среды для лесных топогеосистем заповедника, которым соответствуют наибольшие значения фитомассы и продуктивности. Для склонов среднегорья это угол наклона 31-47°, южная экспозиция, недостаточное увлажнение почвы. Для пологих местностей это участки у подножия скло-

нов и аккумулятивные террасы с пойменными почвами при их умеренном увлажнении. Дальнейшее изучение структуры и функционирования лесных топогеосистем заповедника «Комсомольский» поможет в полной мере оценить их системную организацию и вскрыть основные механизмы геоэктоноизации на локальном уровне.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Арманд А. Д. Информационные модели природных комплексов / А. Д. Арманд. – Москва : Наука, 1975. – 126 с.
2. Арманд Д. Л. Некоторые принципиальные ограничения эксперимента и моделирования в географии / Д. Л. Арманд, В. О. Таргульян // Известия АН СССР. Сер. географическая. – 1974. – № 4. – С. 129-138.
3. Берущавили Н. Л. Методы комплексных физико-географических исследований / Н. Л. Берущавили, И. К. Жучкова. – Москва : Издательство Московского государственного университета, 1997. – 319 с.
4. Бобра Т. В. Геоэколоты в структуре ландшафтного пространства / Т. В. Бобра // Геополитика и экогеодинамика регионов. – Симферополь : КНЦ, 2008. – Вып. 1-2. – С. 28-31.
5. Ван В. М. Сосудистые растения Комсомольского заповедника (Хабаровский край) / В. М. Ван // Комаровские чтения. – Владивосток, 1988. – Вып. 35. – С. 69-122.

6. Гарцман И. Н. Проблемы географической зональности и дискретность гидрометеорологических полей в горных условиях муссонного климата / И. Н. Гарцман // Труды Дальневосточного регионального научно-исследовательского гидрометеорологического института. – 1971. – Вып. 35. – С. 3-31.
7. Глазовская М. А. Геохимические основы типологии и методики исследований природных ландшафтов / М. А. Глазовская. – Москва : Издательство Московского государственного университета, 1964. – 230 с.
8. Дылис Н. В. Программа и методика биогеоэкологических исследований / Н. В. Дылис. – Москва : Наука, 1974. – 403 с.
9. Дьяконов К. Н. Информационный подход к анализу организации геосистем топологического уровня / К. Н. Дьяконов // Вопросы географии. – Москва : Мысль, 1986. – Сб. 127 : Моделирование геосистем. – С. 111-122.
10. Дьяконов К. Н. Современные методы географических исследований / К. Н. Дьяконов, Н. С. Касимов, В. С. Тикунов. – Москва : Просвещение, 1996. – 207 с.
11. Залетаев А. С. Экотонные экосистемы как географическое явление и проблемы экотонизации биосферы / А. С. Залетаев // Современные проблемы географии экосистем : тезисы докладов Всесоюзного совещания. – Москва : Институт географии АН СССР, 1984. – С. 53-55.
12. Кастлер Г. Азбука теории информации / Г. Кастлер // Теория информации в биологии. – Москва : Издательство иностранной литературы, 1960. – С. 9-53.
13. Коломыц Э. Г. Локальные механизмы глобальных изменений природных экосистем / Э. Г. Коломыц. – Москва : Наука, 2008. – 427 с.
14. Крауклис А. А. Особенности географических градаций топического порядка / А. А. Крауклис // Топологические аспекты учения о геосистемах. – Новосибирск : Наука, 1974. – С. 87-137.
15. Крауклис А. А. Проблемы экспериментального ландшафтоведения / А. А. Крауклис. – Новосибирск : Наука, 1979. – 232 с.
16. Никольская В. В. Природное районирование / В. В. Никольская, Д. А. Тимофеев, В. П. Чичагов // Южная часть дальнего Востока. – Москва : Наука, 1969. – С. 301-344.
17. Никонов В. И. Природные ландшафты Нижнего Приамурья / В. И. Никонов // Сибирский географический сборник. – Новосибирск : Наука, 1975. – Вып. 10. – С. 128-175.
18. Петренко П. С. Геоморфологическая локализация лесных экосистем Комсомольского заповедника / П. С. Петренко // Человек и природа: грани гармонии и углы соприкосновения : материалы II Всероссийской научно-практической конференции, 26 ноября 2013 г. – Комсомольск-на-Амуре : Амурский гуманитарно-педагогический государственный университет, 2013. – С. 202-209.
19. Преображенский В. С. Ландшафтные исследования / В. С. Преображенский. – Москва : Наука, 1960. – 128 с.
20. Пузаченко Ю. Г. Структура растительности лесной зоны СССР. Системный анализ / Ю. Г. Пузаченко, В. С. Скулкин. – Москва : Наука, 1981. – 275 с.
21. Раменский Л. Г. Избранные работы. Проблемы и методы изучения растительного покрова / Л. Г. Раменский. – Ленинград : Наука, 1971. – 334 с.
22. Уиттекер Р. Сообщества и экосистемы / Р. Уиттекер. – Москва : Прогресс, 1980. – 327 с.
23. Эшби У. Р. Введение в кибернетику / У. Р. Эшби. – Москва : Издательство иностранной литературы, 1959. – 432 с.

Петренко Полина Сергеевна
научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения «Заповедник «Комсомольский»,
т. 8-924-225-05-85, E-mail: petrenkoolina8710@mail.ru

Petrenko Polina Sergeyevna
Researcher of «Komsomolskiy» Reserve,
tel. +7 924-225-05-85, E-mail: petrenkoolina8710@mail.ru