

УДК 911.3+911.52

**РАЗНООБРАЗИЕ ВРЕМЕННЫХ СОСТОЯНИЙ И УСТОЙЧИВОСТЬ  
ВЫСОКОГОРНЫХ ЛАНДШАФТОВ**© <sup>1,2</sup>Гуны А.Н., <sup>2,3</sup>Гайрабеков У.Т., <sup>2</sup>Алахвердиев Ф.Д<sup>1</sup>*Институт географии РАН, г. Москва, Россия*<sup>2</sup>*Чеченский государственный университет, г. Грозный, Россия*<sup>3</sup>*Академия наук Чеченской Республики, г. Грозный, Россия*

*Статья посвящена анализу результатов эмпирических наблюдений за динамикой высокогорных ландшафтов на Центральном Кавказе. В качестве гипотезы выдвигается утверждение о том, что устойчивость (resilience) ландшафта определяется набором и разнообразием его состояний: чем шире и разнообразнее спектр состояний, тем выше способность ландшафта противостоять внешним изменениям. На материалах сезонной динамики определяются индикаторы циклических (сезонных) и трендовых изменений.*

**Ключевые слова:** ландшафт, геосистема, состояние геосистем.

**Содержание научно-исследовательской проблемы.** Как известно, высокогорные ландшафты обладают высокой динамичностью природных процессов, которые являются составной частью ритмики природных и природно-антропогенных геосистем. Сход лавин и селей, проявление других склоновых процессов, сезонная динамика ландшафтов, растительные сукцессии – эти и другие процессы обладают циклическостью проявления. Однонаправленные трендовые изменения трудно отличить от циклических, поскольку часто неизвестно характерное время проявления того или иного процесса. Зарастание лавинных прочесов или залеживание снежников далеко не всегда можно прямо связать с трендами, поскольку через определенный период времени (от нескольких лет до десятилетий) будет наблюдаться обратный процесс: залесенные участки уничтожатся лавинами, а снежники будут отступать. Вопрос о том, как выявить среди множества ритмических и циклических процессов однонаправленные (трендовые) изменения – является актуальным и ставится в центр многих исследований как в России, так и в мире в контексте изучения глобальных изменений (global change).

В отличие от зарубежных исследований динамики природных процессов, опирающихся в основном на изучение парных корреляций (растительность – климат, климат – интенсивность склоновых процессов и др.) в российской физической географии в центре внимания стоит изучение реакции ландшафта, как сложно устроенной системы. Изменения ландшафта увязываются с трансформацией и устойчивостью его морфологической, вертикальной и временной структуры.

В последнее время наблюдается пик публикаций и проектов по изучению устойчивости, эластичности природных систем. Созданы комиссии и группы в университетах по изучению так называемой *resilience*. Это понятие характеризует способность реагировать на внешние возмущения без изменения инвариантной структуры эко- или геосистемы. Надо отметить, что это направления знакомо для российских исследователей: поскольку похожие работы по изучению устойчивости давно проводились географами на основе методологии системного подхода.

В центре стоит понятие состояние как соотношение структуры и функционирования ландшафта в конкретный момент времени.

В качестве гипотезы выдвигается: ***устойчивость (resilience) ландшафта определяется набором и разнообразием его состояний: чем шире и разнообразнее спектр состояний, тем выше способность ландшафта противостоять внешним изменениям.*** В каждом экстремальном случае ландшафт задействует то состояние, которое наилучшим образом сохраняет его инвариант.

Разнообразие состояний понимается с двух точек зрения:

1) задействование широкого спектра (вплоть до крайних значений, которые способен ландшафт и его компоненты выдержать – температурные отклонения, режим выпадения осадков, механические воздействия и др.) параметров функционирования растительности, почв, рельефа и в целом ландшафта;

2) многообразии возможных сочетаний различных параметров, при которых инвариант ландшафтной структуры не разрушается (например, сочетание низких температур и ветра, интенсивной солнечной радиации и низкого содержания влаги в почве и т.д.).

В таком понимании изучение разнообразия состояний похоже с многомерным изучением видового состава растительности, когда выделяется оптимум и крайние ареалы распространения того или иного вида.

Внедрение человека ведет, как правило, к редуцированию спектра состояний. Исключение составляет конструирование культурного ландшафта, в котором разнообразие состояний поддерживается человеком. Изменение внешних условий, например, глобального климата, также может привести к редукации спектра состояний. Однако, как показали предыдущие исследования, высокогорные ландшафты обладают широким спектром состояний – тем запасом, который позволяет реагировать на достаточно глубокие изменения [3].

Для элементарных ПТК (ранга фация по Н.А.Солнцеву или элементарный ландшафт по Н.А.Гвоздецкому) индикатором состояния и соответственно смены состояния является вертикальная структура как закономерное сочетание геогоризонтов, состоящих в свою очередь из геомасс. Это положение было впервые доказано Н.Л. Беручашвили на основе обработки данных наблюдений на известном в советское время Марткопском стационаре [1]. Наблюдения на ключевых участках в Приэльбрусье показали, что в самой вертикальной структуре индикаторами смен состояний являются: а) выпадение отдельных геогоризонтов; б) существенное сокращение нескольких геогоризонтов.

Для более сложно устроенных ПТК, включающих несколько иерархически уровней, индикаторами смен состояний является закономерное сочетание состояний. Впервые проблеме идентификации состояний сложноустроенных ПТК была посвящена работа Исаченко Г.А. [5], который обозначил подходы: 1) определение состояний через суммирование состояний соподчиненных ПТК; 2) через оценку «веса» отдельных доминантных состояний. Наши исследования показали, что при картографировании

различные состояния образуют рисунок, который отражается на снимках. Взаимосвязь этого рисунка и состояния ПТК положена в основу дешифрирования и сопоставления снимков разных сезонов и лет.

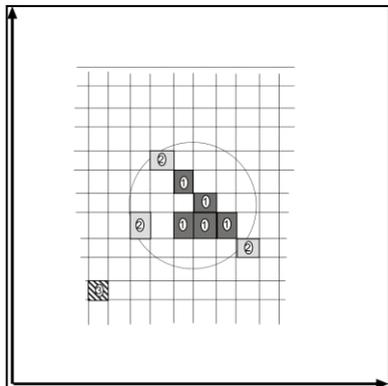


Рис. 1. Состояния, которые принимает природный комплекс при сочетании различных параметров (условно отображены два параметра по оси x и y):

1 – типичные состояния, 2 – периферийные (редкие), 3 – аномальные.

**Эмпирические данные.** Основу для изучения состояний высокогорных ландшафтов составили регулярные наблюдения на трех ключевых трансектах в Цее, Приэльбрусье и Домбае. Были составлены крупномасштабные ландшафтные карты, а также составлена база данных сезонных и многолетних состояний на ключевые природно-территориальные комплексы (ПТК) вместе с серией наземных и аэрокосмических снимков [4]. Обработка этих данных позволила конкретизировать дальнейшие шаги по подтверждению или опровержению выдвинутой гипотезы.

Для наблюдений, опирающихся на использование дистанционных методов в совокупности с полевыми обследованиями, связующим звеном между первым и вторым подходом служит вертикальная структура. Она формирует изменения в отражательной способности, которые в зависимости от чувствительности дистанционного оборудования в той или иной степени фиксируются на снимках.

Обработка снимков производилась на основе концепции многовременного снимка [6] с его ландшафтной (пространственно-временной) привязкой [2]. Суть многовременного снимка состоит в охвате снимком не только пространственных характеристик изучаемых ландшафтов, но и различных сезонных и годовых состояний, что достигается при получении серии снимков одних и тех же ландшафтов в разные сезоны и годы. Полнота многовременных снимков, полученных на ключевые участки, различалась, что связано как с техническими возможностями проведения повторных съемок, так и с разнообразием состояний, которых необходимо было бы зафиксировать.

Сопоставление снимков разных сезонов и лет позволила сделать вывод, что помимо «нормального» прохождения сезонов, зафиксированного на снимках в распределении снега, ветоши, озеленения склонов и т.д., имеются существенные отклонения. Эти отклонения в смене состояний могут служить важным индикатором наметившихся тенденций и трендов. В таблице 2-4 приведены результаты наблюдений за ландшафтами, которые испытывают раннее или позднее наступление тех или иных состояний в зависимости от термического и влажностного режимов.

Таблица 1

Количество наземных съемок, произведенных на ключевых участках в различные сезоны

Годы	Приэльбрусье		Домбай		Цей
	Южный склон пика Терскол	Северный склон г.Чегет	юго-восточный склон г. Семенов-Баши	северо-западный склон г. Мусат-Чери	Ущелье в районе туркомплекса
1987-1990	20	30			
2008-2013	16	28	9	8	9

Таблица 2

Индикаторы – реакция ПТК на изменения в сроках наступления термических сезонов

Термический сезон	Типичные процессы при своевременном наступлении (примеры)	Нетипичные процессы при раннем или позднем наступлении, выводы для трендов
M0	Стратификация снежной толщи, промерзание почв	Резкий переход биомассы в ветошь, глубокое промерзание почв, ведущее к позднему оттаиванию весной и более позднему началу вегетации
M1	Радиационное таяние и оголение участков лугов на выпуклых склонах южной экспозиции	Раннее наступление морозов ведет к вымерзанию корневой системы многих трав
M2	Протаивание прикомлевых участков, состояние «пестрой зимы» на склонах южной экспозиции, образование снежных досок	Увеличение продолжительности ведет к усилению солифлюкционных процессов
M3	Солифлюкция на склонах южной экспозиции, набухание почек у деревьев, подснежная вегетация трав	Укороченный период приводит к резкой дифференциации вегетации растительности в различных фациях
M4	Начало активной вегетации	Сокращение периода нарушает фенофазы цветения
L1	Цветение в горно-лесной зоне, активное таяние лавинных снежников	Затяжной период благоприятно сказывается на темпах вегетации, но нарушает фенофазы цветения
L2	Цветение по всему спектру высотных зон, стаивание большинства лавинных снежников	Сокращение периода ведет к уменьшению интенсивности биогеоциклов
L3	Иссушение почвенного покрова скелетных почв, образование ветоши, «весна» для субнивальных лужаек	Более раннее установление жаркого периода приводит к ксерофитизации горных лугов, пожуханию высокоотравья

Обозначения: M0 – экстремально морозные со среднесуточными в горно-луговом альпийском поясе ниже 15 градусов мороза; M1 – типичные морозные: выше - 15 градусов мороза, отрицательные максимальные температуры сохраняются; M2 – морозные с положительными максимумами в горно-лесной зоне; M3 – с положительными среднесуточными температурами в горно-лесной зоне, но отрицательными минимумами; M4 – с положительными температурами по всему спектру, но отрицательными минимумами в горно-луговом альпийском поясе; L1 – с положительными температурами, как правило, не превышающими 10 градусов; L2 – со среднесуточными положительными температурами более 10 градусов в горно-лесной зоне; L3 – со среднесуточными положительными температурами более 10 градусов в горно-луговом альпийском поясе.

На многие склоновые процессы и процессы вегетации большое влияние оказывают изменения в режиме увлажнения (табл. 3).

Таблица 3

Индикаторы – реакция ПТК на изменения влажностных условий

Влажностный режим почвенно-растительного покрова	Типичные процессы (примеры)	Нетипичные процессы при раннем или позднем наступлении, выводы для трендов
Снег более 5-10 см	сход лавин. Снег укрывает почву и растительность от морозов	Позднее установление снежного покрова – глубокое промерзание почв – задержка вегетации
Пятнистый снежный покров	Солифлюкция	Удлинение – ведет к усилению процессов солифлюкции
Без снега, сухо	Типичные для термического сезона процессы	Ксерофитизация
Небольшие и кратковременные дожди с перерывами	Насыщение влагой почвенных горизонтов, что в целом благоприятно для вегетации растительности, но снижает устойчивость склонов	Длительный период дождей – рост высокоотравья, снижение устойчивости оползневых склонов
Затяжные (более 3 дней) дожди	Насыщение влагой почвенных горизонтов	Резкое уменьшение устойчивости склонов, сход селей

В целом же состояния формируются под воздействием как термических, так и влажностных условий. Наблюдения установили, что ландшафты в спектре высотных зон имеют не только разные сочетания термических и влажностных условий, но и разнообразие этих сочетаний. Наибольшим разнообразием отличаются ландшафты горно-лесной зоны. Ниже и выше горно-лесной зоны разнообразие сочетаний падает (рис. 2). Периферийные сочетания (ср. с рис. 1) должны стать объектом мониторинга трендовых изменений.



Рис. 2. Спектр возможных сочетаний температурного и влажностного режима: темный серый цвет – частое сочетание, светло серый – редкое сочетание

Таблица 4

Реакция вертикальной и горизонтальной структур на прохождение внутригодичных состояний

Подсезон	Термические и влажностные характеристики	Реакция вертикальной структуры (геогоризонтов)	Реакция морфологической структуры (рисунка)
Зимний	преобладание снежного покрова и отрицательных температур (m0 и m1)	Усложнение за счет снежных геогоризонтов и стратификации снежной толщи	упрощение
Зимне-весенний	максимальные температуры становятся положительными (m1, m2), пятнистый снежный покров	Упрощение и трансформация (образование геогоризонтов приземной наледи)	усложнение
Весенний	среднесуточные температуры в горно-лесной зоне становятся положительными (m3) пятнистый снежный покров	Упрощение, активный переход веготши в подстилку	усложнение
Весенне-летний	в горно-лесной зоне минимальные температуры становятся положительными, но в горно-луговой – еще отрицательные (m4), выпадение осадков преимущественно в жидком виде	Усложнение за счет роста вегетативных органов растений	усложнение
Летний	период с положительными среднесуточными и минимальными температурами (L1,2,3), выпадение осадков в жидком виде	Усложнение (за счет роста вегетативных органов растений), трансформация и стабилизация	трансформация
Летне-осенний	минимальные температуры в горно-луговой зоне отрицательные (L, M4)	Стабилизация, переходящая в упрощение	упрощение
Осенний	Количество дней с положительными среднесуточными температурами резко уменьшается (M4, m3, L), начинает выпадать снег (снежный покров еще не устанавливается)	Упрощение и трансформация	Упрощение и трансформация
Осенне-зимний	На фоне отрицательных температур (M2, m1) выпадает снег (устойчивый покров может установиться позднее)	Трансформация и усложнение	упрощение

Однако состояние ПТК не ограничивается лишь термическими или влажностными условиями. Режим температуры и влаги является важным, но не определяет всю полноту связей в ландшафте. Важную роль играют процессы биовлагооборота, миграции веществ и др. На современных полустационарах выделяют несколько десятков параметров функционирования ПТК, которых сложно синтезировать и тем более отождествлять с каким-то одним синтетическим состоянием. Поэтому ландшафтоведы выделяют состояния, опираясь на связи, выявленные в стационарных условиях [1, 2] между термическими, влажностными характеристиками и реакцией вертикальной и морфологической структуры ПТК. Если типы реакции вертикальной структуры описаны в литературе достаточно полно [1, 7], то реакция морфологической структуры, как правило, отождествляется с реакцией тоново-спектральных характеристик ландшафта на снимках. В данной работе используются следующие типы реакции морфологической структуры ландшафта: усложнение (за счет увеличения контрастности большинства границ ПТК), трансформации (увеличение контрастности одних границ ПТК и уменьшения контрастности – других), упрощение (заметны лишь некоторые границы ПТК).

**Выводы.** Анализ многовременных снимков совместно с наземными наблюдениями на ключевых участках позволил выдвинуть несколько важных утверждений, так или иначе, способствующих доказательству основной гипотезы.

1. Связь между спектральной характеристикой элементарного ландшафта (фации) и его состоянием определяется по вертикальной структуре. Это утверждение базируется также на многочисленных работах Н.Л. Беручашвили [1] о связи вертикальной структуры и состояния ПТК. Смена состояний индицируется изменениями в структуре геогоризонтов и геомасс их составляющих. Условно нормальные смены повторяются из года в год.

2. Сочетание спектральных полей образуют рисунок изображения на снимке. Этот рисунок индицирует сочетание состояний элементарных ПТК, которое отображает состояние более сложно устроенного ПТК ранга микроландшафт (урочища), высотной ландшафтной подзоны, зоны или всего высотного спектра ландшафтов. Одни границы между состояниями выражаются лучше на снимках, другие – менее заметны невооруженным взглядом. Поэтому от снимка необходимо переходить к карте ландшафтно-динамических ситуаций, фиксирующей пространственное распределение состояний элементарных ПТК. Здесь также можно выделить условно нормальные распределения состояний, которые типичны для данного участка и повторяются из года в год.

3. Смена зафиксированного в одномоментной яркостной картине на снимке рисунка ландшафта индицируется при сравнении нескольких снимков. По сути, речь идет о смене ландшафтно-динамических ситуаций. В течение года конкретные сложно устроенные ландшафты имеют некий «стандартный» набор ландшафтно-динамических ситуаций. Тенденции усложнения или упрощения рисунков ландшафтов характеризуют как повторяющиеся смены состояний, так и тренды.

Анализ имеющихся в наборе снимков позволил разработать классификацию различных типов смен состояний - переходов от одних состояний к другим: плавные и нестрессовые для ландшафтов переходы, резкие и стрессовые, но не приводящие к смене инварианта, резкие, приводящие к смене инвариантов и др. Как показали имеющиеся данные, вероятность резких и стрессовых переходов возрастает в весенне-зимний, весенне-летний и осенне-зимний периоды. Именно в эти состояния следует чаще проводить мониторинговые работы для выявления трендовых изменений.

### Литература

1. Беручашвили Н.Л. Четыре измерения ландшафта. М.: Мысль. 1986. 182 с.
2. Гуня А.Н. Изучение возможностей выявления динамики состояний ландшафтов по наземным и аэрокосмическим снимкам // Вестник МГУ. Серия 5, 1990. № 1. С. 53-57.
3. Гуня А.Н. Ландшафтные основы анализа природных и природно-антропогенных изменений

- высокогорных территорий. Нальчик: КБНЦ РАН, 2010. 199 с.
4. *Гуля А.Н., Мацаев С.Б., Машкова Р.А., Гежаев А.М.* Сезонная динамика как индикатор трендовых изменений высокогорных ландшафтов // Известия КБНЦ РАН, 2013. № 3 (53). С. 45-52
  5. *Исаченко Г.А.* Закономерности интеграции внутригодичных состояний элементарных природных территориальных комплексов // Изв. Всесоюзн. Геогр. об-ва, 1989. Т. 121. Вып. 2. С. 135-145.
  6. *Книжников Ю.Ф.* Динамическое аэрокосмическое зондирование (содержание, проблемы, область применения) // Вестн. Моск. ун-та. Сер. География, 1985. № 4. С. 7-13.
  7. *Мамай И.И.* Динамика ландшафтов: методика изучения. М.: МГУ. 1992.
  8. Моделирование геосистем. Вопросы географии, Вып. 127. М., Мысль, 1986, 215 с.