

Д.В. Черных

**Количественная оценка сложности
и разнообразия ландшафтного покрова Русского Алтая**

D.V. Chernykh

**Quantitative Assessment of Complexity
and Landscape Diversity of the Russian Altai**

Проведена оценка сложности и разнообразия ландшафтного покрова физико-географических провинций Русского Алтая с помощью серии индексов: дробность, сложность, средняя площадь контура, среднее количество контуров на один вид ландшафта, индексы разнообразия Маргалёфа, Менхиника и Шеннона, величина выровненности.

Ключевые слова: ландшафтные метрики, ландшафтное разнообразие, Русский Алтай.

The quantitative assessment of complexity and landscape diversity was made for the Russian Altai physical-geographical provinces using the following indices: divisibility, complexity, mean contour area, average number of contours per landscape type, the Margalef, Menhinick and Shannon diversity indices, evenness.

Key words: landscape metrics, landscape diversity, Russian Altai.

В 2011 г. издана ландшафтная карта Русского Алтая [1], при разработке легенды которой нами использовался регионально-типологический подход. Типизируемые ландшафтные выделы замыкаются на физико-географических провинциях. В соответствии с этим подходом в пределах территории картографирования выявлено 266 видов ландшафтов.

В таблице 1 показано распределение ландшафтов по типам и подтипам. Ландшафты, в которых эдификаторная роль принадлежит древесной растительности, занимают в Русском Алтае немногим менее половины площади – 44,56%, в том числе 24,35% – горно-таежные. Чуть менее четверти (24,81%) составляют ландшафты, формирующиеся в суровых условиях выше пределов распространения сомкнутой древесной растительности. Чуть большую роль (28,11%) в ландшафтной структуре играют степные и лесостепные ландшафты. И, наконец, ландшафты, в формировании которых ведущим выступает гидроморфный фактор, занимают 2,19% территории.

Наибольшее разнообразие видов ландшафтов характерно для горно-таежного подтипа – 45. В целом же лесные ландшафты представлены 101 видом. Лишь одним видом – ультраконтинентальные перистепные ландшафты, двумя – мохово-болотные мезоолиготрофные. Ландшафты трех подтипов – тундрово-степные криоксерофитные, ультраконтинентальные перистепные и опустыненно-степные распространены только в Юго-Восточной Алтайской провинции и не имеют аналогов в других провинциях.

Если рассматривать разнообразие ландшафтов по подклассам, то наибольшее – 69 – оно в подклассе высокогорных ландшафтов. Высокогорные ландшафты объединяются в 31 группу провинциальных видов-аналогов, из которых 16 встречаются только в одной провинции, а в других аналогов не имеют. Несколько меньше разнообразие видов ландшафтов в среднегорье – 63, они объединены в 21 группу видов-аналогов, из которых 6 представлены только в одной из провинций. Для низкогорных ландшафтов указанные величины составляют 33–21–10, для межгорно-котловинных – 30–22–15, для предгорных – 14–9–3, для горно-долинных – 57–20–5. Таким образом, уникальность высокогорных ландшафтов также максимальна среди всех подклассов и главным образом за счет высокогорных тундрово-степных криоксерофитных, высокогорных степных Юго-Восточной Алтайской провинции и высокогорных горно-таежных Восточной Алтайской провинции. Лишь немногим меньше уникальность межгорно-котловинных ландшафтов, по той причине, что некоторые ландшафты представлены только в границах одной провинции. Всего же 55 видов ландшафтов не имеют провинциальных аналогов.

Максимальное разнообразие провинциальных ландшафтов-аналогов отмечается для горно-таежных среднегорных ландшафтов, относимых к подродам крутосклонных придолинных и наклонных грядовых – по 7. Шесть провинциальных видов-аналогов среди лугово-лесных ландшафтов ящикообразных эрозион-

ных долин и по 5 среди лугово-лесных ландшафтов ущелистых V-образных долин и выработанных долин с преимущественно глубинными деформациями. При этом указанные долинные ландшафты тесно связаны с таежным среднегорьем. Таким образом, таежное среднегорье характеризуется не только максимальным ландшафтным разнообразием, но и максимальной провинциальной представленностью и вариативностью.

Второй пик разнообразия провинциальных ландшафтов-аналогов характерен для экзарационно-денудационного высокогорья, где крутосклонные и наклонные ландшафты представлены пятью гольцово-альпинотипными и подгольцово-субальпинотипными видами-аналогами. В пяти провинциях встречаются и связанные с ними лугово-тундровые ландшафты троговых долин.

Традиционно при количественных оценках организации ландшафтного покрова оперируют характеристиками размера, форм, сложности и разнообразия геосистем, тесно связанными между собой. Например, Н.Л. Беручашвили и В.К. Жучкова выделяют следующие характеристики ландшафтной структуры [2]:

Сложность – количество морфологических единиц в ландшафте. В связи с этим бывают: 1) простые ландшафты с морфологической структурой, состоящей только лишь из фаций и урочищ; 2) средней сложности – с фациями, урочищами и местностями; 3) повышенной сложности – с фациями, подурочищами, урочищами и местностями; 4) очень сложные – с дополнительными морфологическими единицами.

Дробность (иногда эту величину также называют сложностью) – количество ландшафтных контуров в пределах территории исследования (например, количество урочищ в ландшафте).

Разнообразие – количество различных одноранговых геосистем в пределах территории исследования (например, количество типов урочищ в ландшафте или видов ландшафтов в районе).

Характеристики сложности (в том числе и дробности) организации ландшафтного покрова, как правило, выражают через серию индексов [3–5].

Для характеристики сложности ландшафтной организации провинций Русского Алтая мы использовали следующие показатели:

Индекс дробности: $k = n/S$

Средняя площадь контура: $S_0 = S/n$

Коэффициент сложности: $k_0 = n/S_0$

Среднее количество контуров на один вид: $p = n/m$,

где n – количество ландшафтных контуров, S – площадь анализируемой территории; m – количество анализируемых типологических групп ландшафтов (в нашем случае – видов ландшафтов).

Крайние позиции по степени сложности организации ландшафтного покрова среди физико-географических провинций Русского Алтая занимают Предалтайская и Центральная алтайская (табл. 2).

Первая характеризуется наименьшими значениями индекса дробности, коэффициента сложности и среднего количества контуров на один вид ландшафтов. При этом средняя площадь ландшафтных контуров в Предалтайской провинции существенно превосходит другие провинции. Такая ситуация объясняется тем, что в предгорьях количественные изменения термических условий и показателей соотношения тепла и влаги, достаточные для качественных изменений в ландшафтах, проявляются на существенно большем расстоянии, чем в горах.

Максимальные значения дробности и сложности ландшафтного покрова в Центральноалтайской провинции можно объяснить несколькими причинами. Во-первых, хребты Центрального Алтая имеют наиболее высокие абсолютные отметки. При относительно низком положении базиса эрозии, которым являются днища межгорных котловин и крупных, как правило, транзитных речных долин, для провинции характерны максимальные амплитуды высот, что сказывается, с одной стороны, на величине расчлененности поверхности, а с другой – на длинном спектре высотной поясности. Во-вторых, внутренний позиционный фактор (положение в центре горной области) обуславливает существенные экспозиционные различия в распределении геосистем в пределах провинции. Причем системобразующее влияние экспозиции проявляется на различных уровнях: в виде формирования различных вариантов провинциального спектра высотной поясности, на собственно ландшафтном уровне и на внутриландшафтном уровне дифференциации. И, в-третьих, Центральноалтайская провинция в различных своих частях граничит с разнообразными природными средами, испытывая их влияние. Последний факт сказывается на характеристиках не только сложности, но и ее ландшафтного разнообразия.

Несколько меньшие, но близкие друг другу значения коэффициента сложности и индекса дробности – в Северо-Западной Алтайской, Северной Алтайской и Юго-Восточной Алтайской провинциях. Еще меньше эти индексы в Восточной Алтайской и Северо-Восточной Алтайской провинциях. В первом случае это можно объяснить широким распространением в пределах провинции плоскогорий и плато с незначительным расчленением, что создает эффект, похожий на указанный для Предалтайской провинции. Во втором случае относительно низкие значения коэффициента сложности и индекса дробности объясняются высокой общей увлажненностью и залесенностью провинции, что приводит к относительной однородности структуры именно на уровне ландшафтов. При этом дробность, сложность, а также разнообразие организации на уровне морфологических частей ландшафта здесь достаточно высоки. Последний факт уже отмечался ранее для Алтая [6].

Площади и внутренне разнообразие подтипов ландшафтов Русского Алтая

Подтипы ландшафтов	Площадь, км ²	%	Виды
Гляциально-нивальные высокогорные	4573,44	3,46	5
Гольцово-альпинотипные высокогорные	11411,63	8,62	21
Подгольцово-субальпинотипные, в том числе	12040,25	9,09	32
– высокогорные	11571,33	8,74	24
– среднегорные	392,09	0,29	6
– низкогорные	27,09	0,02	1
– межгорно-котловинные	49,74	0,04	1
Тундрово-степные криоксерофитные, в том числе	3722,25	2,81	9
– высокогорные	3106,12	2,35	7
– межгорно-котловинные	616,13	0,46	2
Горно-таежные, в том числе	32231,59	24,35	45
– высокогорные	1578,80	1,19	3
– среднегорные	30262,88	22,87	39
– межгорно-котловинные	389,91	0,29	3
Черново-таежные субнеморальные низкогорные	12521,49	9,46	10
Подтаежные, в том числе	6765,74	5,11	19
– среднегорные	1578,67	1,19	7
– низкогорные	5153,43	3,89	11
– межгорно-котловинные	33,64	0,03	1
Лесостепные барьерно-циклонические, в том числе	17015,91	2,85	14
– низкогорные	8112,05	6,13	9
– предгорные	8903,86	6,72	5
Лесостепные экспозиционные оробореальные, в том числе	5649,56	4,27	12
– среднегорные	5203,42	3,93	8
– межгорно-котловинные	446,14	0,34	4
Ультраконтинентальные перистепные высокогорные	73,98	0,06	1
Настоящие степные, в том числе	303,45	5,52	1
– низкогорные	129,21	0,10	1
– межгорно-котловинные	426,03	0,32	2
– предгорные	6748,21	5,10	8
Сухостепные, в том числе	1917,17	1,45	14
– высокогорные	979,77	0,74	5
– среднегорные	287,42	0,22	2
– межгорно-котловинные	649,98	0,49	7
Опустыненно-степные межгорно-котловинные	1452,01	1,10	4
Травяно-болотные эвтрофные, в том числе	1835,75	1,39	16
– высокогорные	512,82	0,39	3
– среднегорные	114,30	0,09	1
– низкогорные	20,94	0,02	1
– межгорно-котловинные	673,15	0,49	5
– предгорные	27,13	0,02	1
– долинные	487,41	0,38	5
Мохово-болотные мезоолиготрофные долинные	417,55	0,32	2
Галогидроморфные, в том числе	630,76	0,48	
– межгорно-котловинные	262,04	0,20	1
– долинные	368,72	0,28	3
Лугово-тундровые долинные	1100,93	0,83	5
Лугово-лесные долинные	7461,43	5,64	27
Лугово-степные долинные	3788,03	2,86	15

Некоторые характеристики сложности и разнообразия ландшафтного покрова физико-географических провинций Русского Алтая

Показатель	ПА	СЗА	СА	СВА	ЦА	ВА	ЮВА
Площадь (S), км ²	18146,04	12443,30	13402,79	17067,06	37628,89	15043,67	12071,16
Количество контуров (n)	162	578	602	544	2247	602	580
Индекс дробности $k = n/S$	0,009	0,046	0,045	0,032	0,060	0,040	0,048
Средняя площадь контура $S_0 = S/n$; км ²	112,02	21,52	22,26	31,37	16,75	24,99	20,81
Коэффициент сложности $k_0 = n/S_0$	1,45	26,86	27,04	17,34	134,15	24,09	27,87
Подтипы ландшафтов	6	12	7	8	13	10	11
Подроды ландшафтов	6	17	10	16	21	16	17
Виды ландшафтов (m)	19	47	26	31	67	31	45
Среднее количество контуров на один вид $p = n/m$	8,53	12,30	23,15	17,55	33,54	19,42	12,89
Ландшафтное разнообразие (Dmg)	1,84	4,88	2,63	3,08	6,26	3,12	4,79
Ландшафтное разнообразие (Dmn)	0,14	0,42	0,22	0,24	0,35	0,25	0,41
Энтропийная мера разнообразия (H)	3,50	4,65	4,05	3,58	5,21	4,42	4,89
Максимальное разнообразие (H_{max})	4,25	5,56	4,70	4,95	6,07	4,95	5,49
Выравненность (D)	0,75	0,91	0,65	1,37	0,86	0,53	0,60

Примечания: ПА – Предалтайская; СЗА – Северо-Западная Алтайская; СА – Северная Алтайская; СВА – Северо-Восточная Алтайская; ЦА – Центральноалтайская; ВА – Восточная Алтайская; ЮВА – Юго-Восточная Алтайская.

Оценка ландшафтного разнообразия в настоящее время осуществляется в рамках двух основных методических подходов. Причем первый из них представлен двумя вариантами. Один, традиционно используемый отечественным ландшафтоведением, основан на качественном и количественном анализе ландшафтной структуры с использованием ландшафтных карт и различных математико-статистических коэффициентов [7–9]. Само ландшафтное разнообразие в данном случае понимается в смысле, близком к определению, приведенному выше [2]. В другом варианте, широко используемом в рамках ландшафтной экологии, ландшафтное разнообразие анализируется вне рамок строгой субординационной классификации. Территория в этом случае предстает как своеобразная мозаика, состоящая из системы пятен, коридоров и матриц [10–12].

Наиболее широко для оценки ландшафтного разнообразия в рамках этого подхода используются индексы Р. Маргалефа и П. Менхиника, заимствованные из наук биологического цикла [13, 14].

Применительно к объектам ландшафтной сферы данные индексы выражаются следующим образом:

$$Dmg = \frac{(m-1)}{\ln S}; \quad (1)$$

$$Dmn = \frac{m}{\sqrt{S}}. \quad (2)$$

Величины ландшафтного разнообразия, по Маргалефу (1) и Менхинику (2), не обнаруживают абсолютного соответствия (табл. 2). Однако обе они четко разделяют Русский Алтай на две группы провинций – с пониженными и повышенными значениями ландшафтного разнообразия. К первой группе относятся Предалтайская, Северная Алтайская, Северо-Восточная Алтайская и Восточная Алтайская провинции, ко второй – Северо-Западная Алтайская, Центральноалтайская и Юго-Восточная Алтайская. Причем, если в первой группе оба коэффициента однозначно фиксируют повышение ландшафтного разнообразия провинций в той последовательности,

в которой они указаны выше, то во второй группе ситуация более сложная. По индексу Маргалефа ландшафтное разнообразие Центральноалтайской провинции существенно превосходит разнообразие в пределах Северо-Западной Алтайской и еще больше Юго-Восточной Алтайской провинции. По индексу Менхиника ландшафтное разнообразие Центральноалтайской провинции несколько меньше близких значений двух других провинций.

Второй подход к оценке ландшафтного разнообразия основан на использовании важнейшей функции информации – энтропии, где мера количества информации есть величина энтропии [15]. Энтропийная характеристика меры разнообразия исходит из того, что условия среды предоставляют возможность выбора конкретного ее состояния из множества существующих, поэтому можно ставить знак равенства между понятием «условия среды» и информацией-энтропией. Кроме этого, разнообразие как энтропия есть функция не только площади, но и мощности среды, или эволюционного времени развития системы. Разнообразие как энтропия связано с энергией, и чем больше энергия, тем больше энтропия. Чем более эволюционно совершенна система, тем более полно используется «ресурс – энергия» и тем больше разнообразие [16]. Иными словами, разнообразие измеряется числом состояний, в которых система может находиться [17].

Схожие мысли высказывал В.С. Михеев, когда говорил, что в географических системах увеличению разнообразия внутренней динамической структуры соответствует повышение организованности [18]. При этом он отмечал, что типологическое разнообразие по числу представителей-аналогов всего набора основных таксономических типов не может служить полным критерием оценки стабильности. Структурно равноценные ландшафтные подразделения, например таежные, разных регионов (или контактирующие в пределах одного региона), могут обладать разной степенью организованности при сопоставлении.

Территориальную дифференциацию разнообразия геосистем можно формализовать геометрическими вероятностями типологических ареалов в виде отношений их площадей к общей изучаемой площади [5].

Максимально возможное разнообразие, естественно, зависит от количества типологических групп геосистем, в нашем случае – количества видов ландшафтов в пределах провинции, и определяется как $H_{\max} = \log(m)$, где m – количество видов ландшафтов в пределах провинции. Данные величины очень хорошо согласуются с величинами ландшафтного разнообразия, полученными на основе индексов Маргалефа и Менхиника.

Энтропия будет возрастать и приближаться к максимальной при равновероятном проявлении всех

видов ландшафтов в пределах провинции, т.е. тогда, когда в данной провинции в равной степени содоминируют все возможные виды ландшафтов.

При этом формула расчета разнообразия принимает вид:

$$H = -\sum \frac{S_i}{S} \cdot \log \frac{S_i}{S}, \quad (3)$$

где, S_i – площадь i -го вида ландшафтов в пределах провинции; S – площадь провинции.

Величины энтропийной меры разнообразия для провинций Русского Алтая приведены в таблице 2.

Отклонение от максимума разнообразия характеризует величина, называемая абсолютной организацией системы, мерой неуравновешенности системы [5], степенью доминантности [19] или выровненностью (D):

$$D = H_{\max} - H. \quad (4)$$

На наш взгляд, данный показатель применительно к географическим системам информативен в последних значениях, т.е. с точки зрения выявления степени доминирования какого-то типа геосистем в пределах анализируемой территории: чем больше максимально возможное разнообразие отличается от реального, тем выше доминирование какого-либо одного типа геосистем. Минимальное значение выровненности характерно для Восточной Алтайской провинции. На наш взгляд, это связано с тем, что в пределах данной провинции наиболее широко представлены поверхности выравнивания нескольких высотных уровней, что не дает последовательного и существенного уменьшения площадей ландшафтов каждого последующего высотного-поясного подразделения, как это происходит в других провинциях. Несколько большие, но все же достаточно низкие значения выровненности характерны для Юго-Восточной Алтайской и Северной Алтайской провинций.

Для Северо-Восточной Алтайской провинции характерна максимальная выровненность. И это несмотря на относительно низкие значения максимально возможного разнообразия. Такая ситуация является прямым следствием подавляющего доминирования в пределах провинции нескольких видов лесных ландшафтов и в первую очередь ландшафтов массивных и грядовых чернево-таежных низкогорий и крутосклонных горно-таежных среднегорий.

Знание величин ландшафтного разнообразия и выровненности чрезвычайно важно с практической точки зрения. Территории с низким разнообразием при прочих равных условиях благоприятны для эффективного монофункционального хозяйства, так как они требуют меньших вложений, например, в обработку земли, с высоким разнообразием – для организации охраняемых территорий и рекреации.

Библиографический список

1. Черных Д.В., Самойлова Г.С. Ландшафты Алтая (Республика Алтай и Алтайский край) : карта. – Новосибирск, 2011.
2. Беручашвили Н.Л., Жучкова В.К. Методы комплексных физико-географических исследований. – М., 1997.
3. Арманд А.Д. Информационные модели природных комплексов. – М., 1975.
4. Викторов А.С. Рисунок ландшафта. – М., 1986.
5. Плюснин В.М. Ландшафтный анализ горных территорий (на примере Прибайкалья) : автореф. дис. ... д-ра геогр. наук. – Иркутск, 2000.
6. Самойлова Г.С. Структурная и пространственная организация ландшафтов севера Внутренней Азии // Известия РГО. – 2002. – Т. 134. – Вып. 2.
7. Николаев В.А. Проблемы регионального ландшафтоведения. – М., 1979.
8. Братков В.В., Идрисова Р.А., Алсабекова А.А. Ландшафтное разнообразие Чеченской республики // Вестник Северо-Кавказского государственного технического университета. – 2009. – №1 (18).
9. Черных Д.В., Золотов Д.В. Факторы и особенности ландшафтной структуры равнин и гор Южной Сибири // Известия РАН. Серия геогр. – 2009. – №2.
10. Forman R.T.T. and Godron M. Landscape Ecology. – New York, 1986.
11. Diaz N., Apostol D. Forest Landscape Analysis And Design: A Process for Developing and Implementing Land Management Objectives for Landscape Patterns. Report No. R6 ECO-TP-043-92. USDA Forest Service, Pacific Northwest Region. – Portland, 1992.
12. Manns T. Quantitative Characterisation of Landscape in Joint Character Areas // Dissertation submitted for the MSc in Mathematics with Modern Applications. – York, 2006.
13. Margalef R. Information Theory in Ecology // Gen. Syst. – 1958. – №3.
14. Menhinick E. F. Estimations of Insect Populations Density in Herbaceous Vegetation with Emphasis on Removal Sweeping // Ecology. – 1963. – №44.
15. Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетике. – М., 1963.
16. Пузаченко Ю.Г., Дьяконов К.Н., Алещенко Г.М. Разнообразие ландшафта и методы его измерения // География и мониторинг биоразнообразия. – М., 2002.
17. Эшби У.Р. Введение в кибернетику. – М., 1959.
18. Человек у Байкала. Экологический анализ среды обитания. – Новосибирск, 1993.
19. Miller J.N., Brooks R.P., Croonquist M.J. Effects of Landscape Patterns on Biotic Communities // Landscape Ecology. – 1997. – №12.