

К. С. ГАНЗЕЙ\*, А. Н. ИВАНОВ\*\*

\*Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, г. Владивосток

\*\*Московский государственный университет

## ЛАНДШАФТНОЕ РАЗНООБРАЗИЕ КУРИЛЬСКИХ ОСТРОВОВ

*Рассмотрено применение двух подходов при оценке ландшафтного разнообразия территории: качественный и количественный анализы ландшафтной структуры на базе ландшафтных карт и расчет ландшафтного разнообразия на основе космических снимков. В ходе исследования выявлено, что два рассматриваемых подхода отражают разные свойства ландшафта. Установлено, что показатели, использованные при анализе ландшафтных карт, раскрывают различные стороны сложного и многогранного понятия «ландшафтное разнообразие». Некоторые показатели в значительной степени перекрываются. Ландшафтное разнообразие имеет высокую степень зависимости от площади острова.*

Ключевые слова: ландшафтное разнообразие, Курильские острова, индекс Маргалефа, индекс Шеннона, индекс Симпсона.

*We consider the use of two approaches in assessing landscape diversity of a territory: qualitative and quantitative analyses of the landscape structure on the basis of landscape maps, and a space imagery-based calculation of landscape diversity. This study revealed that the two approaches under consideration reflect different properties of landscape. It is established that the various indicators used in analyzing landscape maps unveil the aspects of a complicated and multifaceted notion of «landscape diversity». A number of indicators overlap to a significant extent. Landscape diversity has a high degree of dependence on an island's area.*

Keywords: landscape diversity, Kuril Islands, Margalef index, Shannon index, Simpson index.

### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Термин «ландшафтное разнообразие» (landscape diversity) в последние годы все чаще встречается в отечественных и зарубежных научных работах, однако до настоящего времени не имеет общепринятого определения. В одной из работ отмечается, что представление о ландшафтном разнообразии (ЛР) формируется лишь в последнее десятилетие в связи с проблемами сохранения и использования окружающей среды [1]. Хотя в данной формулировке — ландшафтное разнообразие — термин действительно стал активно использоваться в научных публикациях лишь с середины 90-х гг. XX в., в сходном контексте представление о ЛР развивается в ландшафтоведении уже давно.

Понятие ЛР нашло отражение в выделении доминантных, субдоминантных, редких и уникальных морфологических единиц ландшафта, полидоминантных и монодоминантных ландшафтах. Количественные характеристики ЛР использовались при картометрическом анализе ландшафтных карт с 60-х гг. XX в. К настоящему времени предложено около 70 показателей, отражающих те или иные свойства ЛР [2]. Вместе с тем в 90-е гг. XX в. отмечается явное усиление интереса к изучению ЛР, связанное с развитием компьютерных технологий и методов дистанционного зондирования, а также с введением термина ЛР в политический лексикон (Общеввропейская стратегия в области сохранения биологического и ландшафтного разнообразия).

В ландшафтоведении сложилось два основных подхода к анализу ЛР. Один из них, более традиционный, основан на качественном и количественном анализе ландшафтной структуры территории с использованием ландшафтных карт и различных статистических коэффициентов [3, 4]. В этом случае под ЛР понимается число и частота встречаемости природных территориальных комплексов (ПТК) в пределах какого-либо региона, являющихся отражением структурно-генетической неоднородности территории, связанной главным образом со свойствами литогенной основы.

Второй подход основан на анализе ЛР с использованием материалов дистанционного зондирования, преимущественно космических снимков. В этом случае понятие ЛР подразумевает размеры, форму и связанность различных экосистем на большой территории [1], обусловленные отражательными свойствами ландшафта. Оба подхода оперируют с одним термином — ландшафтное разнообразие, однако используют при анализе существенно разные, хотя и частично перекрывающиеся свойства ландшафта. Цель настоящей работы — провести сравнительный анализ различных подходов и показателей ландшафтного разнообразия, реализованный на одних объектах, включая нахождение общих свойств и различий и выявление закономерностей.

## ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В качестве объекта исследования выступают ландшафты Курильской островной дуги. Нами выделено на Курилах пять генетических групп ландшафтов: вулканогенные, денудационно-вулканогенные, денудационные, денудационно-аккумулятивные и сейсмоструктурные, которые находятся в трех биоклиматических зонах. Всего в пределах островов выделяется 13 типологических групп ландшафтов [5]. Выбор Курильских островов обусловлен их достаточно высоким разнообразием, а также наличием разномасштабных ландшафтных карт, материалов дистанционного зондирования, удобством расчета ландшафтных метрик при фиксированной площади островов.

В научной литературе имеются весьма противоречивые данные о площади отдельных Курильских островов, поэтому в качестве особой задачи были выделены расчеты их площадей. Площади островов рассчитывались с помощью программного пакета ArcInfo и ArcView на основе анализа топографических карт м-ба 1:200 000 и космических снимков Landsat-7 за 2000 г.

Для анализа ЛР использовались ландшафтные карты Курильских островов м-ба 1:200 000 и 1:500 000, составленные по материалам полевых исследований авторов в 1991–1992 и 2002–2008 гг., а также по космическим и аэрофотоснимкам, фоновым материалам. Для оценки ЛР по ландшафтным картам применялся ряд показателей, приведенных в табл. 1. В основу большинства из них положен анализ распределения площади ПТК и числа контуров внутри ПТК более высокого иерархического уровня.

Оценка ландшафтного разнообразия островов на основе материалов дистанционного зондирования проводилась с использованием многоканальной сканерной съемки Landsat-7 за 2000 г. в панхроматическом канале. После необходимых преобразований снимков в программе Erdas Imagine 8.4 расчет ландшафтных метрик проводился в программах Fracdim и Fragstat. Из большого числа показателей, используемых для оценки разнообразия по космическим снимкам [1, 12], были выбраны индекс Шеннона и индекс Симпсона.

Индекс Шеннона учитывает одновременно и однородность распределения, и видовое богатство ПТК на острове. Рассчитывается по формуле

$$I_{ш} = -\sum (p_i \times \ln p_i),$$

где  $p_i$  — площадь территории в долях, занятая  $i$ -м выделом.

Таблица 1

Показатели, используемые при анализе ландшафтных карт Курильских островов [3, 6–11]

Показатель	Обозначение/формула
<i>Группа простых характеристик</i>	
Площадь острова	$S$
Площадь одного вида ПТК на острове	$S_i$
Количество видов ПТК на острове	$m$
Количество ландшафтных контуров	$n$
Среднее количество контуров на один вид ПТК	$p$
Средняя площадь ландшафтных контуров	$S_0 = \frac{S}{n}$
<i>Группа сложных характеристик</i>	
Индекс дробности ландшафтных контуров	$k = \frac{n}{S}$
Коэффициент сложности	$K_{слож} = \frac{n}{S_0}$
Энтропийная мера сложности ландшафтного рисунка	$H = -\sum_{i=1}^m \frac{S_i}{S} \log \frac{S_i}{S}$
Максимальная возможная сложность ландшафтов	$H_m = \log m$
Абсолютная организация ландшафтов (мера неуравновешенности)	$H_i = H_{\max} - H$
Относительная организация ландшафтов	$R = 1 - \frac{H}{H_m}$
Коэффициент ландшафтной раздробленности	$K = \frac{S_0 \cdot 100 \%}{P}$
Индекс Маргалефа	$D_{mg} = \frac{(n-1)}{\ln S}$

Индекс измеряется в единицах информации. Значения его равны нулю, если весь остров занимает только один выдел, соответственно ландшафтное разнообразие отсутствует. Индекс возрастает с увеличением видового богатства и более равномерным распределением ПТК на территории. Значения индекса теоретически могут меняться от нуля до бесконечности, но на практике он редко принимает значения более 3,5.

Индекс Симпсона описывает вероятность принадлежности двух пикселей снимка, выбранных в произвольном порядке, к разным ПТК и вычисляется по формуле:

$$I_s = 1 - \sum S_i^2,$$

где  $S_i$  — доля площади территории, занятая  $i$ -м выделом.

Значения индекса варьируют от 0 до 1. Если индекс равен нулю, то территория содержит в себе только один выдел и, соответственно, разнообразие отсутствует. Индекс стремится к единице при возрастании числа выделов и при увеличении равномерности их распределения. Индекс Симпсона менее чувствителен к присутствию редких и уникальных выделов, чем индекс Шеннона.

Поскольку индексы разнообразия помимо видового богатства очень сильно зависят от однородности распределения, напрямую сравнение разнообразия различных объектов не вполне корректно. Полученные индексы более правомерно сравнивать только для островов, имеющих сравнимую площадь. По этому показателю все острова были разбиты на пять групп: малые острова площадью до 10 км<sup>2</sup>; острова площадью от 10 до 50 км<sup>2</sup>; 51–100 км<sup>2</sup>; 101–500 км<sup>2</sup>; крупные острова площадью более 500 км<sup>2</sup>.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты проведенных расчетов систематизированы в табличной форме (табл. 2). Коэффициенты корреляции между различными показателями ЛР представлены в табл. 3.

Как следует из табл. 3, ряд показателей — коэффициент сложности, энтропийная мера сложности и индекс Маргалефа — находятся в высокой степени зависимости и отражают, вероятно, схожие грани ландшафтного разнообразия, поскольку корреляция между ними весьма высокая. Практически тождественную информацию о ЛР содержат энтропийная мера разнообразия и индекс Маргалефа (0,94). В то же время некоторые показатели (индекс дробности, коэффициент относительной организации ландшафтов) слабо связаны с другими, т. е. можно предположить, что они отражают существенно иные стороны ЛР.

Одной из важных установленных закономерностей является четкая зависимость ЛР от площади острова [15]. На рисунке показана зависимость между энтропийной мерой разнообразия и островами с разной площадью.

Зависимость различных метрик ЛР от площади острова подтверждается довольно высокими значениями коэффициента корреляции, составляющими у разных показателей 0,70–0,73. Физическая интерпретация этой закономерности вполне объяснима. На небольших островах с действующими вулканами последние практически полностью «контролируют» ход природных процессов и разнообразие ПТК. Во время вулканических извержений на островах, сформированных на одной вулканической постройке, обычно весь остров подвергается воздействию извержения, что нивелирует сложившееся ландшафтное разнообразие и вызывает смену всех ПТК, развитие которых вновь начинается с фазы зарождения и становления. На крупных островах действующие вулканы «контролируют» около одной трети площади [13]. Таким образом, даже при мощных извержениях вулканическому воздействию подвергается только часть островной территории, и существуют ландшафты, находящиеся на разных стадиях развития с разнородной литогенной основой, что существенно увеличивает ЛР.

Второй важный фактор, обуславливающий увеличение ЛР на крупных островах — развитие системы поверхностного стока. По мере увеличения площади острова наблюдается закономерное увеличение густоты речной сети, а при уменьшении площади ниже некоторого критического уровня постоянные русловые водотоки на острове могут полностью отсутствовать. Подобная ситуация типична для некоторых островов-вулканов (Анциферова, Чиринкотан, Райкоке, Матуа, Чёрные Братья, Броутона и др.), сложенных с поверхности рыхлыми отложениями. Это приводит к полному выпадению (или уменьшению значения) в ландшафтной структуре малых островов долинных ПТК, что значительно снижает ЛР [14].

При одинаковой площади островов ландшафтное разнообразие в значительной степени зависит от теплообеспеченности ландшафтов. На южных островах при прочих равных условиях формируется более разнообразный растительный покров, что приводит к увеличению ЛР. В качестве примера можно привести пары островов примерно одинаковой площади (Уруп—Кунашир, Шумшу—Симушир и др.), при этом показатели ЛР значительно выше на более южных островах (см. табл. 2).

Количественные показатели ландшафтной структуры Курильских островов

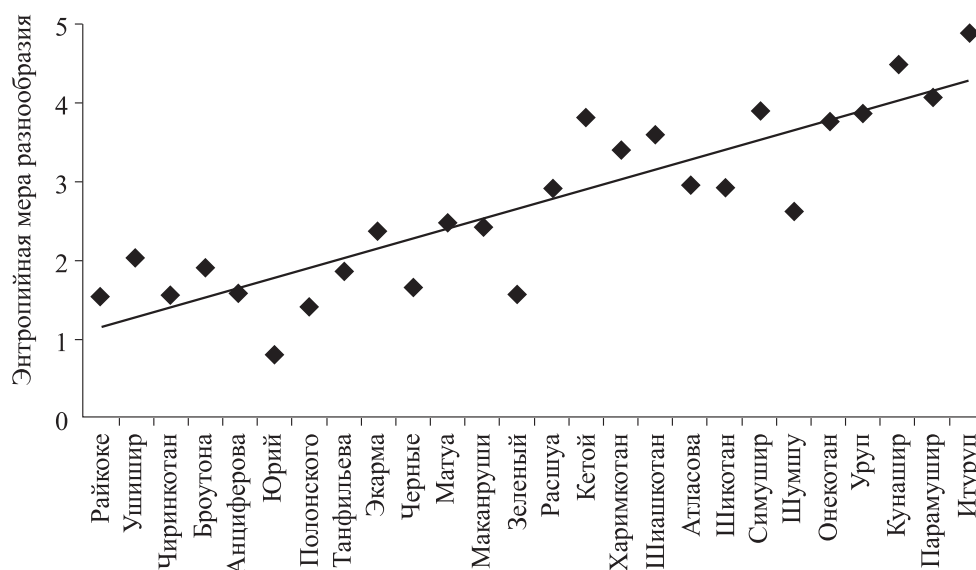
Остров	Ландшафтные карты														Космические снимки		Кол-во видов сосудистых растений, по [2]
	Простые характеристики							Сложные характеристики							Индекс Шеннона	Индекс Симпсона	
	Площадь острова ( $S$ )	Кол-во ландшафтных контуров ( $n$ )	Кол-во видов ПТК ( $m$ )	Сред. кол-во контуров на один вид ПТК ( $p$ )	Средн. площадь контура ( $S_0$ )	Индекс дробности ландшафтных контуров ( $k$ )	Коэффициент сложности ( $K_{\text{слож}}$ )	Энтропийная мера сложности ландшафтного рисунка ( $H$ )	Максимальная возможная сложность ландшафтов ( $H_{\text{max}}$ )	Абс. организация ландшафтов (неуравновешенность) ( $H_i$ )	Относит. организация ландшафтов ( $R$ )	Коэффициент ландшафтной дробности ( $K$ )	Индекс Маргалефа				
Шумшу	386,44	295	9	32,78	1,31	0,76	225,2	2,62	3,17	0,55	0,17	0,34	1,34	—	—	450	
Аласова	159,47	58	16	3,63	2,75	0,36	21,09	2,95	4	1,05	0,26	1,72	2,96	2,83	0,69	248	
Парамушир	2042,44	893	40	22,33	2,29	0,44	390,44	4,06	5,32	1,26	0,24	0,11	5,12	1,20	0,31	556	
Анциферова	9,5	7	5	1,4	1,36	0,74	5,16	1,58	2,32	0,74	0,32	14,29	1,78	—	—	23	
Маканруши	52,8	40	8	5	1,32	0,76	30,3	2,42	3	0,58	0,19	2,5	1,76	1,49	0,40	145	
Онекотан	446,72	201	26	7,73	2,22	0,45	90,44	3,76	4,7	0,94	0,2	0,5	4,1	—	—	321	
Харимкотан	79,36	79	18	4,39	1	1	78,64	3,4	4,17	0,77	0,18	1,27	3,89	2,55	0,62	180	
Экарма	32,01	19	9	2,11	1,68	0,59	11,28	2,36	3,17	0,81	0,26	5,26	2,31	2,66	0,65	120	
Чириккотан	6,75	5	5	1	1,35	0,74	3,7	1,57	2,32	0,75	0,32	20	2,09	—	—	39	
Шиашкотан	120,82	179	23	7,78	0,67	1,48	265,2	3,6	4,52	0,92	0,2	0,56	4,59	1,26	0,31	220	
Райкоке	4,58	7	3	2,33	0,65	1,53	10,7	1,54	1,58	0,04	0,03	14,29	1,31	2,12	0,75	71	
Матуа	52,57	14	8	1,75	3,76	0,27	3,73	2,49	3	0,51	0,17	7,14	1,77	—	—	214	
Раслуа	63,35	46	17	2,71	1,38	0,73	33,4	2,91	4,09	1,18	0,29	2,17	3,86	—	—	264	
Ушишир	5,08	9	5	1,8	0,56	1,77	15,94	2,04	2,32	0,28	0,12	11,11	2,46	—	—	230	
Кетой	71,25	107	23	4,65	0,67	1,5	160,69	3,81	4,52	0,71	0,16	0,93	5,16	2,53	0,61	272	
Симушир	344,86	155	27	5,74	2,22	0,45	69,67	3,88	4,75	0,87	0,18	0,65	4,45	0,64	0,15	337	
Броутона	7,32	5	5	1	1,46	0,68	3,42	1,92	2,32	0,4	0,17	20	2,01	2,30	0,58	29	
Чёрные Братья	35,23	14	6	2,33	2,52	0,4	5,56	1,66	2,58	0,92	0,36	7,14	1,4	2,26	0,57	146	
Уруп	1427,57	870	31	28,06	1,64	0,61	530,2	3,85	4,95	1,1	0,22	0,11	4,13	0,82	0,21	531	
Итуруп	3174,71	1858	60	30,97	1,71	0,59	1087,4	4,89	5,91	1,02	0,17	0,05	7,32	0,71	0,13	872	
Кунашир	1510,15	1221	52	23,48	1,24	0,81	987,21	4,47	5,7	1,23	0,22	0,08	6,97	0,94	0,25	1087	
Шикотан	252,77	482	18	26,78	0,52	1,91	919,11	2,93	4,17	1,24	0,3	0,21	3,07	1,67	0,41	724	
Полонского	11,78	7	3	2,33	0,59	1,68	4,16	1,4	1,58	0,18	0,12	14,29	0,81	1,36	0,33	129	
Зелёный	58,38	30	4	7,5	0,51	1,95	15,42	1,57	2	0,43	0,22	3,33	0,74	1,69	0,41	187	
Юрий	9,98	19	3	6,33	1,9	0,53	36,17	0,81	1,58	0,77	0,49	5,26	0,87	—	—	212	
Танфильева	12,42	17	5	3,4	1,37	0,73	23,27	1,85	2,32	0,47	0,2	5,88	1,59	0,67	0,16	175	

Корреляционная матрица между разными показателями

Показатель	Индекс дробности	Коэффициент сложности	Энтропийная мера сложности	Относительная организация	Коэффициент раздробленности	Индекс Маргалефа	Индекс Шеннона	Индекс Симпсона	Число видов сосудистых растений
Индекс дробности	<b>1,00</b>	0,07	0,20	0,37	0,11	0,16	0,14	0,13	0,04
Коэффициент сложности	0,07	<b>1,00</b>	0,67	0,01	0,48	0,71	0,47	0,50	0,93
Энтропийная мера сложности	0,20	0,67	<b>1,00</b>	0,25	0,70	0,94	0,41	0,45	0,73
Относительная организация	0,37	0,01	0,25	<b>1,00</b>	0,06	0,14	0,07	0,05	0,02
Коэффициент раздробленности	0,11	0,48	0,70	0,06	<b>1,00</b>	0,56	0,32	0,39	0,62
Индекс Маргалефа	0,16	0,71	0,94	0,14	0,56	<b>1,00</b>	0,39	0,42	0,74
Индекс Шеннона	0,14	0,47	0,41	0,07	0,32	0,39	<b>1,00</b>	0,93	0,53
Индекс Симпсона	0,13	0,50	0,45	0,05	0,39	0,42	0,93	<b>1,00</b>	0,54
Число видов сосудистых растений	0,04	0,93	0,73	0,02	0,62	0,74	0,53	0,54	<b>1,00</b>

Таким образом, максимальными показателями ландшафтного разнообразия отличаются наиболее крупные южнокурильские острова Итуруп и Кунашир, минимальными значениями — небольшие острова-вулканы. Обращают на себя внимание довольно высокие показатели ЛР для среднекурильского о. Кетой, имеющего сравнительно небольшую площадь (71 км<sup>2</sup>). Это объясняется, по-видимому, особо сложным геоморфологическим строением острова, в котором сочетаются ПТК стратовулканических конусов, кальдер, лавовых потоков, вулканических плато, долинообразных понижений, высоких береговых уступов, морских террас и др.

Несколько иной аспект ЛР отражают показатели абсолютной и относительной организации ландшафтов (см. табл. 1). В контексте рассматриваемой проблемы наиболее информативным представляется показатель относительной организации ландшафтов, значения которого варьируют от 0 до 1. Если значение равно нулю, то система полностью разбалансирована, если единице — система наиболее организована, т. е. эволюционно находится на этапе зрелости с чертами самоорганизации и установившимися связями. Для большинства Курильских островов показатель относительной организации ландшафтов находится в пределах 0,16–0,22, иначе говоря, характеризуется низкими значениями. Это вполне объяснимо, поскольку для абсолютного большинства островов характерны



Связь между энтропийной мерой разнообразия и островами разной площади (расположение в порядке ее увеличения).

постоянно действующие возмущающие факторы (извержения вулканов, высокая сейсмичность, штормовые нагоны, ветры, цунами и др.), которые перманентно выводят островные геосистемы из состояния равновесия.

Вместе с тем расчет этого показателя при анализе ЛР островов может вызвать методические затруднения. В случае, если количество ландшафтных контуров на острове невелико (например, на небольшом острове Топорковый вблизи о. Матуа всего два ландшафтных выдела), то значение коэффициента относительной организации ландшафтов получается заниженными (0,03), хотя ландшафтная структура при этом может быть сбалансированной и устойчивой. Если же остров занимает только один ландшафтный выдел, то вычисление относительной организации ландшафтов теряет всякий смысл, поскольку делить на ноль нельзя. Вероятно, использование коэффициента относительной организации методически более корректно при анализе ландшафтной структуры материковых геосистем с достаточно большой площадью и разнообразием.

Индекс дробности ландшафтных контуров характеризует отношение среднего размера площади индивидуального ПТК к площади острова и позволяет оценить, как часто сменяют друг друга в пространстве отдельные ПТК. Основной закономерностью здесь является высокая степень дробности ландшафтной структуры для наиболее крупных островов (0,05–0,11 с минимальным значением на о. Итуруп) и уменьшение ландшафтной раздробленности на два порядка на малых островах, достигающие 20-ти на островах Чиринкотан и Броутона. Таким образом, при увеличении площади острова ландшафтная раздробленность также возрастает. Это объясняется увеличением числа различных факторов ландшафтной дифференциации, имеющих место на крупных островах. Если на небольших островах-вулканах абсолютно доминирующим является вулканическая деятельность, определяющая все основные черты ландшафтной структуры, то на крупных островах действуют как вулканогенные, так и невулканогенные факторы (водно-эрозионные, формирование аккумулятивных равнин и перешейков, различный возраст ПТК и др.). Они часто сменяют друг друга в пространстве, что значительно увеличивает показатель ландшафтной раздробленности.

Анализ космических снимков Курильских островов на основе индексов Шеннона и Симпсона позволил выявить несколько закономерностей: а) высокую степень корреляции между этими двумя показателями ( $r = 0,93$ ); б) слабую и чаще всего отрицательную связь между этими двумя переменными и другими показателями ландшафтного разнообразия; в) отсутствие четкой зависимости между площадью острова и значениями индексов. Последнее обстоятельство не согласуется с эмпирически установленной закономерностью связи площади острова и ландшафтным разнообразием, о чем говорилось ранее и что проявляется практически на всех островах [14, 15]. Можно предположить, что данные показатели не прямо отражают ландшафтное разнообразие островов, а несут информацию о каких-то других сторонах островной природы, связанных с отражательной способностью ландшафтов, а также с алгоритмом расчетов, при котором очень большое значение имеет выравненность распределения. Ландшафтное разнообразие, рассчитанное на основе материалов дистанционного зондирования, в значительной степени определяется мозаичностью растительного покрова, влажностью почвогрунтов, контрастностью яркости изображения [16].

Курильские острова выделяются хорошей изученностью флоры [17], что позволяет оценить связь между числом видов растений на островах с разной площадью и сложностью ландшафтной структуры. В целом число видов сосудистых растений на острове имеет высокую зависимость от его площади (коэффициент корреляции  $r = 0,78$ ), что подтверждает одно из основных положений теории островной биогеографии. Вместе с тем расчет корреляции между числом видов растений на островах и их площадью по флористическим районам В. Ю. Баркалова [18] выявил довольно существенные различия. В Урупском и Малокурильском флористических районах  $r = 0,98$ , т. е. зависимость числа видов от площади острова очень высокая. Несколько ниже эти значения в Северокурильском флористическом районе ( $r = 0,81$ ) и еще ниже в Среднекурильском ( $r = 0,69$ ), что объясняется, вероятно, преобладанием там небольших по площади островов. В Южнокурильском флористическом районе, включающем в себя всего два острова (Кунашир и Итуруп)  $r$  имеет отрицательные значения ( $-1$ ), поскольку на меньшем по площади о. Кунашир число видов растений значительно больше, чем на о. Итуруп. Это объясняется небольшой выборкой, а также тем обстоятельством, что о. Кунашир располагается южнее и во время морских регрессий соединялся с островами Хоккайдо, Сахалин и материком, что способствовало обогащению его флоры. Это соединение продолжалось в течение длительного времени, вероятно, с плиоцена до среднего голоцена [19].

Высокую степень зависимости между собой имеют также интегральные показатели ландшафтного разнообразия островов и число видов растений. При этом сильнее всего коррелирует видовое разнообразие растений на острове с коэффициентом сложности ( $r = 0,93$ ), несколько ниже степень взаимообусловленности числа видов с энтропией и индексом Маргалефа ( $r = 0,73-0,74$ ). Необходимо также отметить отсутствие корреляции между числом видов растений и индексом дробности ( $-0,02$ ), числом видов растений и показателем относительной организации ландшафтов ( $-0,04$ ).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе выполненного анализа различных подходов к оценке ландшафтного разнообразия Курильских островов, можно сделать ряд выводов. Сравнительный анализ ландшафтного разнообразия, проведенный с использованием ландшафтных карт и космических снимков, показал неполную совместимость этих подходов. Очевидно, это связано с различной методикой оценки ЛР, а также с тем, что два рассматриваемых подхода отражают разные свойства ландшафта. При анализе ландшафтных карт оценивается прежде всего структурно-генетическая неоднородность территории, связанная со свойствами литогенной основы. Территориальным носителем информации и основным объектом анализа в данном случае является контур на ландшафтной карте. При анализе космических снимков оцениваются отражательные свойства земной поверхности. В этом случае элементарным территориальным носителем информации является пиксел, а оцениваются некоторые физические свойства подстилающей поверхности, выраженные через отражение солнечной радиации и/или тепловое излучение.

Оба подхода оперируют одним термином — «ландшафтное разнообразие», что создает некоторую путаницу. На наш взгляд, использование этого термина более корректно при традиционном подходе с анализом ландшафтных карт. Чтобы не возникало противоречий, для оценки разнообразия по космическим снимкам, вероятно, лучше использовать другой термин, например «экосистемное разнообразие».

Различные показатели, использованные при анализе ландшафтных карт, отражают разные стороны сложного и многогранного понятия ландшафтного разнообразия. Ряд показателей в значительной степени перекрываются и, по-видимому, нет необходимости проводить расчеты со всеми переменными, приведенными в табл. 1. В качестве интегральных показателей ландшафтного разнообразия лучше всего подходят энтропийная мера разнообразия и индекс Маргалефа. Другие стороны ландшафтного разнообразия отражают индекс дробности и коэффициент относительной организации ландшафтов.

Ландшафтное разнообразие возрастает от мелких островов к крупным по зависимости, близкой к линейной. Помимо площади, фактором, определяющим разнообразие ландшафтов, является теплообеспеченность: при одинаковой площади большим ландшафтным разнообразием отличаются более южные острова.

Число видов растений на Курильских островах имеет тесную зависимость от площади. При сходной площади большее число видов сосудистых растений отмечается на островах с более высоким ландшафтным разнообразием. Из разных метрик ландшафтного разнообразия наиболее тесная связь с числом видов растений характерна для коэффициента сложности ландшафтной структуры.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (09–05–00364).*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пузаченко Ю. Г., Дьяконов К. Н., Алещенко Г. М. Разнообразие ландшафта и методы его измерения // География и мониторинг биоразнообразия. — М.: Изд-во НУМЦ, 2002. — С. 143–302.
2. Викторов А. С. Математическая морфология ландшафта. — М.: ТРАТЕК, 1998. — 191 с.
3. Николаев В. А. Проблемы регионального ландшафтоведения. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1979. — 160 с.
4. Марцинкевич Г. И. Ландшафтоведение. — Минск: Изд-во Белорус. ун-та, 2007. — 206 с.
5. Ганзей К. С. Ландшафты и физико-географическое районирование Курильских островов. — Владивосток: Дальнаука, 2010. — 214 с.
6. Ивашутина Л. И., Николаев В. А. К анализу ландшафтной структуры физико-географических регионов // Вестн. Моск. ун-та. Сер. геогр. — 1969. — № 4. — С. 49–59.
7. Фадеева Н. В. Подходы к определению количественных характеристик при анализе пространственной структуры ландшафта // Современные проблемы природного районирования. — М.: Изд-во Ин-та географии АН СССР, 1975. — С. 123–131.
8. Викторов А. С. Ландшафтный рисунок. — М.: Мысль, 1986. — 177 с.
9. Плюснин В. М. Ландшафтный анализ горных территорий. — Иркутск: Изд-во Ин-та географии СО РАН, 2003. — 257 с.
10. Плюснин В. М., Биличенко И. Н., Загорская М. В. и др. Картографирование и районирование геосистем // Географические исследования Сибири. Т. 1: Структура и динамика геосистем. — Новосибирск: Гео, 2007. — С. 72–109.
11. Сороковой А. А. Ландшафтная структура Байкальской природной территории (геоинформационный анализ): Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. — Иркутск: Изд-во Ин-та географии СО РАН, 2008. — 24 с.

12. **Nagenda H.** Opposite trends in response for the Shannon and Simpson indices of landscape diversity // *Applied Geogr.* — 2002. — Vol. 22. — P. 175–185.
13. **Мархинин Е. К.** Вулканизм. — М.: Недра, 1985. — 288 с.
14. **Иванов А. Н.** Ландшафтные особенности островов Северо-Западной Пацифики // *Изв. РГО.* — 2005. — Т. 137, вып. 4. — С. 48–54.
15. **Дьяконов К. Н., Пузаченко Ю. Г.** Теоретические вопросы островного ландшафтоведения // *Горизонты географии. К 100-летию К. К. Маркова.* — М.: Изд-во Моск. ун-та, 2005. — С. 14–17.
16. **Иванов А. Н., Крушина Ю. В.** Ландшафтное разнообразие и методы его измерения // *Ландшафтоведение: теория, методы, региональные исследования, практика.* — М.: Изд-во Моск. ун-та, 2006. — С. 99–102.
17. **Баркалов В. Ю.** Флора Курильских островов. — Владивосток: Дальнаука, 2009. — 468 с.
18. **Баркалов В. Ю.** Очерк растительности // *Растительный и животный мир Курильских островов.* — Владивосток: Дальнаука, 2002. — С. 35–66.
19. **Разжигаева Н. Г., Ганзей Л. А.** Развитие природной среды // *Атлас Курильских островов.* — Владивосток: ИПЦ ДИК, 2008. — С. 362–367.

*Поступила в редакцию 29 июня 2011 г.*

---