

ПРИРОДНЫЕ И ТЕХНОПРИРОДНЫЕ
ПРОЦЕССЫ

УДК 502/504

МОДЕЛЬ МОРФОЛОГИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ГРЯДОВЫХ ЭОЛОВЫХ
ЛАНДШАФТОВ, СФОРМИРОВАВШИХСЯ НА ОСНОВЕ
БАРХАННЫХ ЦЕПЕЙ

© 2020 г. Т. В. Гоников^{1,*}, А. С. Викторов^{2,**}

¹ Географический факультет МГУ им. Ломоносова, Симферопольский п-д, 14/2, 48, Москва, 117638 Россия

² Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН, Уланский пер., 13, стр.2, Москва, 101000 Россия

*E-mail: gonikov.timur@yandex.ru

**E-mail: vic_as@mail.ru

Поступила в редакцию 13.03.2020 г.

После доработки 13.03.2020 г.

Принята к публикации 24.04.2020 г.

Статья посвящена разработке математической модели морфологической структуры грядовых эоловых ландшафтов, формирующихся на основе барханных цепей. Исследование позволило обосновать две закономерности строения морфологических структур рассматриваемых ландшафтов – геометрическое (с единичным смещением) распределение числа барханов, образующих цепь, и логнормальное распределение длин эоловых гряд, формирующихся на основе барханных цепей. Эмпирическая проверка модели выполнялась на основе участков грядовых эоловых ландшафтов в котловине оз. Кукнор (Цинхай, Китай), в котловине оз. Чад и эоловых ландшафтов побережья Бразилии. Полученные результаты могут быть использованы при дистанционном мониторинге и прогнозе развития эоловых процессов.

Ключевые слова: эоловые процессы, барханы, математические модели в географии, ландшафтный рисунок, математическая морфология ландшафта, аридная экология

DOI: 10.31857/S0869780920050045

ВВЕДЕНИЕ

К числу актуальных вопросов аридной геоморфологии относится изучение закономерностей строения и формирования грядовых эоловых форм рельефа. Существует значительное число исследований, посвященных механизму формирования эоловых гряд [1, 2, 5, 6], при этом часто основанных и на натурном экспериментальном материале [7]. Несколько меньше исследований посвящено количественным закономерностям строения эолового рельефа [9]. В то же время в изучении закономерностей часто ограничиваются чисто эмпирическим подходом.

Исследование эоловых процессов – также один из центральных вопросов в геоэкологии аридных территорий. Значительные территории Африки, Азии и Австралии подвергаются воздействию данного экзогенного процесса, тем самым оказывая сильное влияние на экологию и хозяйство регионов. В связи с этим остро стоит вопрос о внедрении новых методик наблюдения и моделирования ветровой эрозии и аккумуляции.

Целью исследования явилась разработка математической модели морфологической структуры

грядовых эоловых ландшафтов, формирующихся на основе барханных цепей. Весьма часто данные ландшафты развиты в прибрежных зонах озерных котловин или морских берегов. Спецификой настоящего исследования стало изучение барханных цепей с применением данных дистанционного зондирования (ДДЗ) и математического моделирования в рамках математической морфологии ландшафта [3].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование включало разработку математической модели морфологической структуры грядовых эоловых ландшафтов, формирующихся на основе барханных цепей, и эмпирическую проверку модели. Анализ рисунков проводился на основе применения ДДЗ. Преимущественно использовались высоко детальные снимки “Bing” разрешением от 2 до 4 м.

Рассмотрим плоскую равнину с галофильной растительностью и развитием одиночных барханов с разреженной псаммофитной растительностью, характерную для прибрежных зон озерных

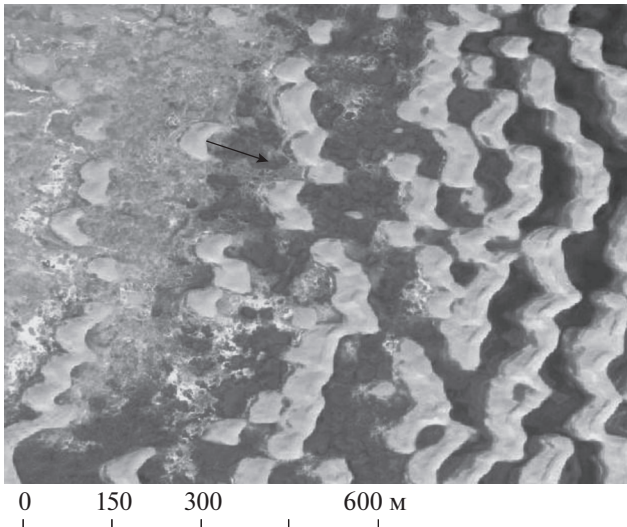


Рис. 1. Пример изображения грядовой эоловой равнины на материалах космической съемки (западный берег оз. Кукунор); стрелкой показано направление движения барханов, фиксируемое на разновременных снимках [11].

котловин. Подобные ландшафты развиты в прибрежных зонах озер Кукунор, Балхаш, Чад. Анализ данных космических съемок и литературных сведений позволяет выделить следующие основные этапы развития этих территорий:

1. Элементарные эоловые формы (барханы) небольших размеров в процессе движения под воздействием ветра догоняют другие барханы или более крупные образования (барханные гряды); параллельно и независимо действует и механизм присоединения форм с боковых сторон.

2. Происходит постепенное слияние соединившихся эоловых комплексов и перенос песчаного материала вдоль эоловой гряды, что со временем увеличивает ее длину (диаметр) и выравнивает очертания.

Таким образом, основным процессом изменения ландшафта прибрежных зон озерных котловин является слияние барханов в барханные гряды с характерными фестончатыми очертаниями и последующее их переформирование в типичные эоловые гряды с ровными границами.

Типичный вид подобного ландшафта на космическом снимке приведен на рис. 1 (прибрежная зона оз. Кукунор). На космических снимках высокого разрешения хорошо видно, как одиночные барханы, практически лишенные растительности, группируются в барханные цепи с фестончатыми очертаниями, а затем после сглаживания очертаний эоловыми процессами превращаются в типичные эоловые гряды. Действительно, на геоморфологических картах описанные участки классифицируются как “серповидные дюны” [10],

что в российской классификации называется барханами.

Для первого этапа в комплексе протекающих процессов, когда длина барханных гряд еще относительно невелика, может быть предложена модель, описывающая число слившихся барханов в барханной гряде и базирующаяся на следующих допущениях:

- слияния барханов и барханных гряд происходят независимо друг от друга;
- вероятность слияния зависит только от рассматриваемого интервала времени Δt :

$$p = \lambda \Delta t + o(\Delta t),$$

где λ – параметр.

Пусть в момент времени t количество элементарных эоловых форм (барханов), образующих гряду, имеет распределение $P(k, t)$ и производящую функцию $\varphi(z, t)$:

$$\varphi(z, t) = \sum_{k=1}^{+\infty} P(k, t) z^k.$$

В момент времени $t + \Delta t$ производящая функция числа элементарных эоловых форм, составляющих гряду, учитывая возможность не слияния гряды или слияния 2-х, 3-х и т.д. гряд, а также то, что производящие функции суммируемых независимых случайных величин перемножаются, задается выражением:

$$\varphi(z, t + \Delta t) = (1 - \lambda \Delta t) \varphi(z, t) + \lambda \Delta t \varphi^2(z, t) + o(\Delta t).$$

Переносим $\varphi(z, t)$ в левую часть, делим на длину интервала и устремляем ее к нулю, получаем дифференциальное уравнение:

$$\frac{d\varphi(z, t)}{dt} = -\lambda \varphi(z, t) + \lambda \varphi^2(z, t).$$

Решая уравнение с разделяющимися переменными, и считая, что в начальный момент времени имеются только одиночные элементарные эоловые формы (барханы), получаем следующую производящую функцию:

$$\varphi(z, t) = \frac{e^{-\lambda t}}{1 - z(1 - e^{-\lambda t})} z.$$

Эта производящая функция отвечает смещенному (на единицу) геометрическому распределению числа элементарных эоловых форм в составе гряды в любой момент времени t , и таким образом распределение числа барханов k , входящих в барханную гряду, в момент времени t дается выражением:

$$P(k, t) = e^{-\lambda t} (1 - e^{-\lambda t})^k, \quad k = 1, 2, \dots$$

Таким образом, получена модель первого этапа развития эоловых гряд.

На следующем этапе происходят исчезновение фестончатой структуры и сглаживание гряд, при этом продолжается их слияние с другими эоловыми формами – барханами и грядами. На рассматриваемой стадии представляется логичным предположить, что чем больше существующие размеры гряды, тем больше вероятность того, что она при том же временном интервале “поймает” догнавший ее бархан и сольется с ним или с соседними эоловыми комплексами.

Модель на этом этапе базируется на следующих допущениях:

– слияние эоловых комплексов (барханов и гряд) происходит независимо друг от друга;

– скорость приращения гряды за счет слияния с барханами прямо пропорциональна длине гряды.

Первое допущение представляется естественным в силу независимости поведения отдельных барханов и гряд. Как отмечено выше, второе допущение определяется тем, что вероятность “поймать” догоняющий бархан зависит от длины гряды, работающей как своеобразная ловушка барханов, поставляющих материал для ее роста.

Таким образом, переходя к количественному анализу и исходя из описанной схемы формирования рисунка, получаем, что прирост гряды Δl_i за каждый i -год пропорционален ее длине (диаметру) l_i , существующей в начале года:

$$\Delta l_i = \xi_i l_i,$$

где ξ_i – случайный коэффициент, зависящий от особенностей участка и особенностей года (ветровой режим, особенности субстрата и др.), независимый и одинаково распределенный для разных лет с математическим ожиданием и дисперсией соответственно:

$$M\xi_i = a, \quad D\xi_i = \sigma^2.$$

Поделив на l_i и суммируя, получаем равенство:

$$\sum_{i=0}^t \frac{\Delta l_i}{l_i} = \sum_{i=0}^t \xi_i,$$

где t – время.

Заменяем приближенно в левой части сумму ряда соответствующим интегралом; правая часть является суммой большего числа независимых случайных величин и по центральной предельной теореме распределена по закону Гаусса:

$$\int_{l(0)}^{l(t)} \frac{dx}{x} = \eta,$$

где $l(0)$ и $l(t)$ – соответственно длина гряды начальная и в момент t , с математическим ожиданием и средним соответственно:

$$M\eta = at, \quad D\eta = \sigma^2 t.$$

Интегрируя и принимая начальный размер $l(0)$ за единицу, получаем:

$$\ln l(t) = \eta.$$

В итоге получаем, что длина гряды $l(t)$ в момент t подчиняется логнормальному распределению с функцией плотности распределения:

$$f_d(x, t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma x\sqrt{t}}} e^{-\frac{(\ln x - at)^2}{2\sigma^2 t}},$$

где a , σ – параметры изменения грядово-эолового ландшафта во времени.

Таким образом, в данной модели реализуется механизм появления логнормального закона, получивший название “схема умножения”.

Эмпирическая проверка модели выполнялась на основе участков грядовых эоловых ландшафтов в котловине оз. Кукунор (Цинхай), в котловине оз. Чад и эоловых ландшафтов побережья Бразилии. Эмпирическая проверка включала следующие элементы:

- дешифрирование барханов и эоловых гряд;
- подсчет числа барханов, составляющих барханную грядку;
- измерение диаметров и периметров гряд;
- сопоставление полученных выборок числа барханов, составляющих барханную грядку, с геометрическим распределением по критерию Пирсона в программе “Statistica”;
- сопоставление полученных выборок длин и периметров с различными типами распределений (гамма-распределение, экспоненциальное распределение, логнормальное распределение) по критерию Пирсона.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Исследование поведения числа слившихся в барханные гряды барханов для краевой части ландшафтного рисунка участка “Кукунор-запад” показало, что гистограмма распределения числа элементарных барханов, из которых состоит гряда, демонстрирует соответствие с геометрическим распределением (со смещением) со значением параметра p^1 равным 0.183. Представленная гистограмма (рис. 2) демонстрирует высокое сходство с теоретическим геометрическим распределением. Максимальное наблюдаемое число слияние для одной гряды – 4 элементарных бархана, тогда как наиболее часто встречаются присоединения двух барханов. Объем взятой на анализ выборки составлял 47 значений, что достаточно для построения базовой статистической

¹ Параметр p – вероятность превышения фактического значения χ^2 ; эмпирические данные не противоречат теоретическим на уровне значимости 0.95, если $p > 0.05$.

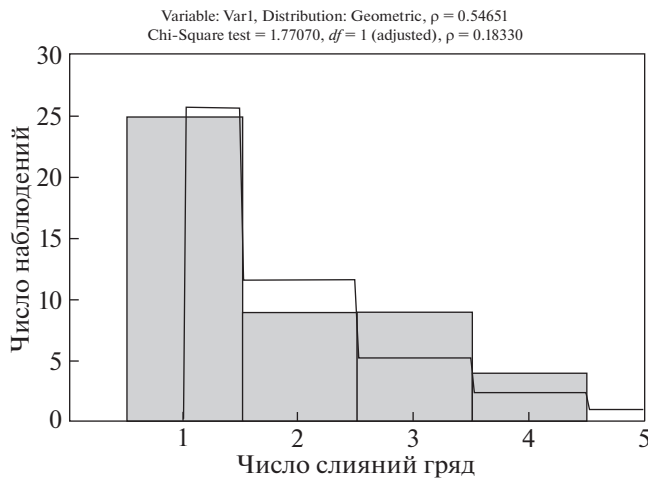


Рис. 2. График эмпирической (гистограмм) и теоретической (линия) функций распределения числа элементарных эоловых форм в гряде для участка “Кукур-запад” для геометрического распределения.

картины, однако требуется дальнейшая эмпирическая проверка модели на других участках.

Верификация модели на участках со схожей морфологией была проведена для двух участков эоловых полей тихоокеанского побережья Бразилии. Ландшафт располагается в национальном парке Ленсойс-Мараньенсес (02°32' ю.ш. 43°07' з.д.), что обеспечивает охрану геосистемы от антропогенного влияния, которое бы могло нарушить естественное протекание эолового морфогенеза. Морфология участка, как видно на снимке (рис. 3), схожа с ситуацией на побережье Кукурора. Под воздействием восточных океанических ветров большое число серповидных эоловых форм движется на запад, что можно наблюдать на разновременных космических снимках. Там же можно обнаружить, что при движении часто наблюдается слияние двух и более элементарных форм в фестончатые вытянутые гряды. Отроги форм распо-

ложены с подветренной стороны, что позволяет классифицировать их как барханы. Ситуация осложняется наличием широких участков дельты р. Рио-Негро, которые в сезон дождей препятствуют дальнейшему продвижению барханов, а также обуславливают сезонную динамику скорости гряд [8].

Для участков “Brazil 1” и “Brazil 2”, объем выборки на которых составил 56 и 71 значений, соответственно, была проведена аналогичная проверка на соответствие геометрическому распределению.

Гистограмма распределения участка “Brazil 1” демонстрирует согласие со смещенным геометрическим распределением с показателем p равным 0.225 (рис. 4). Максимальное наблюдаемое число слияний в одной гряде – 6, а наиболее часто встречаемое – 1 слияние в пределах сложной гряды.

Гистограмма распределения участка “Brazil 2” показала соответствие со смещенным геометрическим распределением с показателем p равным 0.141 (рис. 5). Максимальное наблюдаемое число слияний в одной гряде также составляет 6, а наиболее часто встречаемое – 1 слияние.

Таким образом, находит первичное подтверждение модель развития морфологической структуры ландшафта барханных гряд, предложенная для первого этапа. Несмотря на различия в физико-географических условиях и некоторых условиях протекания эолового процесса, получена единая эмпирическая закономерность.

Для проверки второй части модели, которая описывает распределение длин грядовых комплексов, выбраны два объекта. Барханные цепи Кукурора сопоставлялись с островами оз. Чад, которые в современных представлениях географов классифицируются как эоловые формы [4]. Рисунок таких островов и участки анализа представлены на рис. 6. В итоге исследовано было че-

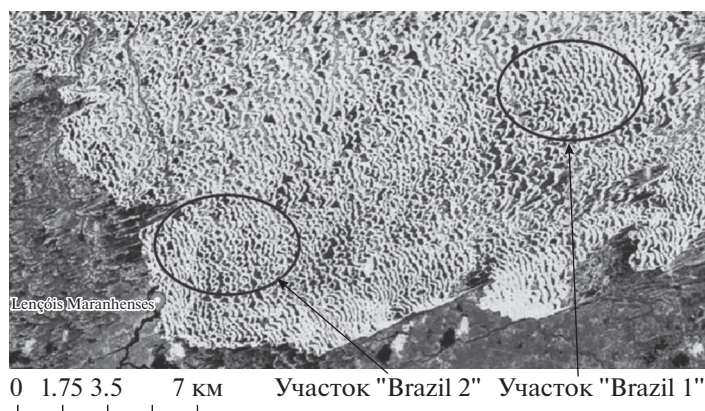


Рис. 3. Участки анализа барханных цепей национального парка “Ленсойс-Мараньенсес” (Бразилия).

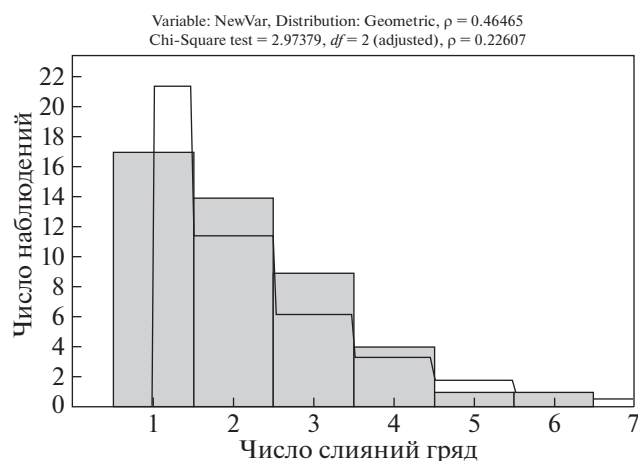


Рис. 4. График эмпирической (гистограмма) и теоретической (линия) функций распределения числа элементарных эоловых форм в гряде для участка “Brazil 1” для геометрического распределения.

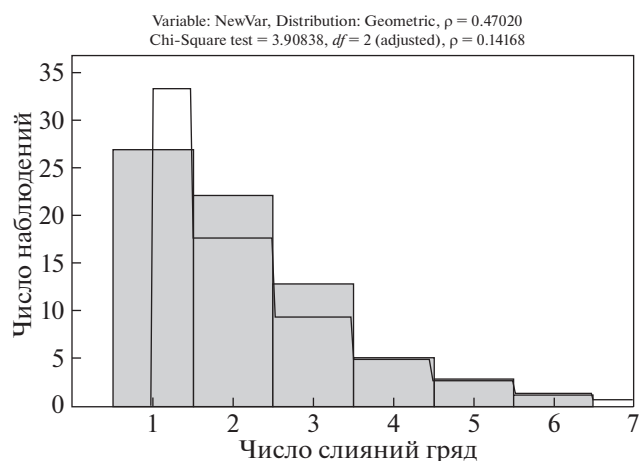


Рис. 5. График эмпирической (гистограммы) и теоретической (линия) функций распределения числа элементарных эоловых форм в гряде для участка “Brazil 2” для геометрического распределения.

тыре ключевых участка при объемах выборок от 78 до 472. В программе “Statistica” анализировались две характеристики – длина и периметр гряд. Отчасти данные характеристики дублируют друг друга, однако при этом уточняется статистическая картина. Указанные данные проверялись на соответствие логнормальному, гамма и экспоненциальному распределениям по критерию Пирсона.

На ключевых участках побережья оз. Кукунор результаты показывают соответствие эмпирических распределений только логнормальному распределению.

Аналогичная проверка была проведена для грядового ландшафта побережья оз. Чад. Представленный график (рис. 7.) также демонстрирует справедливость логнормального распределения для длин гряд ($p = 0.255$). При этом для двух участков оз. Чад наблюдается одновременное соответствие и гамма-распределению (табл. 1).

В целом, сравнительный анализ четырех участков оз. Чад и Кукунор указывает на общую закономерность – логнормальное распределение длин и периметров грядовых комплексов (см. табл. 1. и рис. 7), хотя параметры распределения естественно изменяются от участка к участку. Таким образом, находит подтверждение вторая часть модели.

Рассмотрение представленной модели корректно только в пределах однородных ландшафтных рисунков. Кроме того, требуется ее дальнейшая эмпирическая проверка и уточнение. Тем не менее, полученная модель может служить базой для дальнейшего анализа. Так, используя логнормальность распределения длин гряд и выражения для его математического ожидания, получаем

связи наиболее распространенных ландшафтных метрик с параметрами изменения ландшафта во времени:

– средняя длина эоловой гряды:

$$\bar{d} = \exp \left[\left(a + \frac{\sigma^2}{2} \right) t \right], \quad \text{где } t \text{ – время развития,}$$

– коэффициент изменчивости длины гряды:

$$v = \sqrt{\exp(\sigma^2 t) - 1}.$$

Практическое применение представленной в работе модели может относиться к сфере дистанционного мониторинга и прогноза развития эоловых процессов. Рассматривая движение эле-

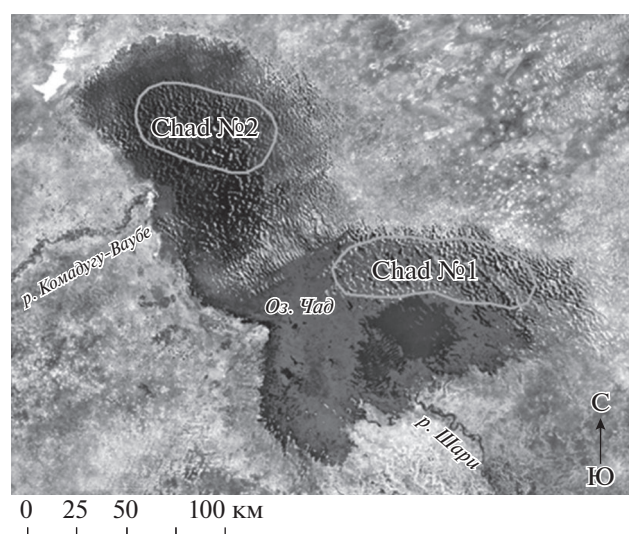


Рис. 6. Расположение эталонных участков в пределах котловины оз. Чад.

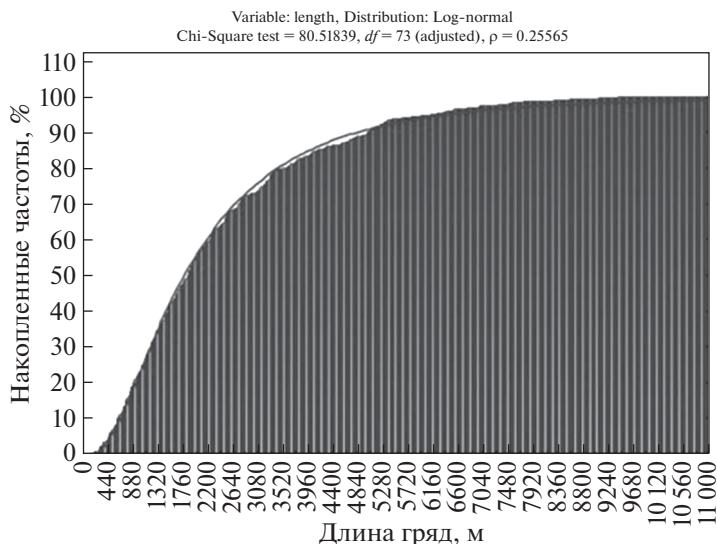


Рис. 7. График эмпирической (гистограмма) и теоретической логнормальной (линия) функций распределения длин гряд участка Чад-1.

ментарных форм во времени, модель может быть полезна для прогноза поведения территорий с активными эоловыми процессами. Перспективным моментом с позиций геоэкологии представляется ее возможное применение для территорий Калмыкии, которые характеризуются большим числом очагов с развитием барханов.

ВЫВОДЫ

Аналитическая модель слияния элементарных барханов в крупные барханные цепи позволила теоретически обосновать справедливость смешенного геометрического распределения числа

слияния таких форм. Эмпирическая проверка модели на основе критерия Пирсона подтвердила высокую степень соответствия теоретического и наблюдаемого распределения.

Удалось теоретически обосновать и эмпирически проверить логнормальный характер распределения длин эоловых гряд, сформировавшихся на основе слияния более простых эоловых форм.

Полученные закономерности формирования эоловых гряд подтверждаются в сильно различающихся физико-географических условиях и возможно носят общий характер.

Таблица 1. Соответствие эмпирических распределений длин эоловых гряд разным типам теоретических распределений

Участок	Характеристики гряд	Объем измерений	Среднее, м	Значение показателя <i>p</i> -уровня		
				Логнормальное	Гамма-распределение	Экспоненциальное
Кукунор-запад	Длина	78	236	0.279	0.000	0.000
	Периметр	78	742	0.322	0.000	0.000
Кукунор-восток	Длина	138	378	0.360	0.000	0.000
	Периметр	138	811	0.114	0.000	0.000
Чад-1	Длина	482	2357	0.074	0.051	0.000
	Периметр	482	6548	0.523	0.251	0.000
Чад-2	Длина	282	1692	0.288	0.073	0.000
	Периметр	282	4712	0.466	0.506	0.000

*Жирным шрифтом выделено соответствие на уровне значимости 0.95 (*p* не менее 0.05).

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ проект № 18-05-00723.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аристархова Л.Б.* Процессы аридного рельефообразования. М.: МГУ, 1971. 174 с.
2. *Бадюкова Е.Н., Соловьева Г.Д.* Прибрежные эоловые формы колебания уровня моря // *Океанология*. 2015. Т. 55. № 1. С. 139–146.
3. *Викторов А.С.* Основные проблемы математической морфологии ландшафта. М.: Наука, 2006. 252 с.
4. *Климанова О.А., Царева О.В.* Изменение природных комплексов в котловине озера Чад в 1987–2007 гг. в условиях глобальных климатических изменений // *Проблемы региональной экологии*. 2014. Т. 3. С. 79–84.
5. *Петров М.П.* Пустыни земного шара. Л.: Наука, 1973. 435 с.
6. *Федорович Б.А.* Аридные процессы и морфоскульптуры в СССР // *Морфоскульптура и экзогенные процессы на территории СССР*. М.: [б. и.], 1975. 224 с.
7. *Федорович Б.А.* Динамика и закономерности рельефообразования пустынь. М.: Наука, 1983. 238 с.
8. *Amaral Y.T., dos Santos E.M., Ribeiro M.C., and Barreto L.* Landscape structural analysis of the Lençóis Maranhenses National Park: implications for conservation // *Journal for Nature Conservation*. 2019. V. 51, no 125725. <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2019.125725>
9. *Coudie A.* Statistical laws and dune ridges in southern Africa // *Geographic Journal*. V. 135. N 3. P. 404–406. <https://doi.org/10.2307/1797329>
10. *Jiang Z.* Modern Sedimentary System and Windfield-Source-Basin System Dynamics of Qinghai Lake // *Sedimentary Dynamics of Windfield-Source-Basin System*. Springer Geology. Springer, Singapore. 2018. P. 79–120. https://doi.org/10.1007/978-981-10-7407-3_3
11. *Song C.H., Fang X.M., Shi Y.M. et al.* Characteristics and formation of Aeolian Dunes on Western Shore of the Qinghai Lake // *J. Desert Res.* 2000. 20(4). P. 443–446.

THE MODEL OF MORPHOLOGICAL STRUCTURE OF AEOLIAN RIDGE LANDSCAPES FORMED BY BARCHAN CHAINS

T. V. Gonikov^{a,*} and A. S. Victorov^{b,**}

^a Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University, Leninskie gory 1, Moscow, 119234 Russia

^b Sergeev Institute of Environmental Geoscience, Russian Academy of Sciences, Ulanskii per., 13, bld.2, Moscow, 101000 Russia

*E-mail: gonikov.timur@yandex.ru

**E-mail: vic_as@mail.ru

The paper presents a mathematical model of ridge aeolian landscapes formed by barchans chains. The research allows us to substantiate two structural laws for the morphological patterns of these landscapes: the geometric distribution (with a single shift) of the number of dunes forming a chain and the lognormal distribution of the lengths of aeolian ridges formed by dune chains. Empirical testing of the model involved ridge aeolian landscapes in the basin of Qinghai (Ch'inghai) Lake, in the basin of Lake Chad and aeolian landscapes on the eastern coast of Brazil. The results are supposed to be applied for the purpose of remote monitoring and predicting the specific of aeolian processes.

Keywords: aeolian processes, barchans, mathematical modeling, landscape pattern, mathematical morphology of landscape, arid ecology

REFERENCES

1. Aristarkhova, L.B. *Protsessy aridnogo rel'efoobrazovaniya* [Processes of arid relief formation]. Moscow, 1971, 174 p. (in Russian)
2. Badyukova, E.N. Solov'yova, G.D. *Pribrezhnye eolovyye formy kolebaniya urovnya morya* [Coastal aeolian forms of sea level fluctuations]. *Okeanologiya*, 2015, vol. 55, no. 1, pp. 139–146. (in Russian)
3. Victorov, A.S. *Osnovnye problemy matematicheskoi morfologii landshafta* [The main problems of mathematical morphology of landscapes]. Moscow, Nauka, 2006, 252 p. (in Russian)
4. Klimanova, O.A., Tsareva, O.V. *Izmenenie prirodnykh kompleksiv v kotlovane ozera Chad v 1987-2007 gg v usloviakh global'nykh klimaticheskikh izmenenii* [Change in natural complexes in the basin of Lake Chad in 1987–2007 in the context of global climate change]. *Problemy regional'noy ekologii*, 2014, vol. 3, pp. 79–84. (in Russian)
5. Petrov, M.P. *Pustyni zemnogo shara* [Deserts of the globe]. Leningrad, Nauka, 1973, 435 p. (in Russian)
6. Fedorovich, B.A. *Aridnye protsessy i morfoskul'ptury v SSSR* [Arid processes and morphosculptures in the USSR]. *Morfoskul'ptura i ekzogennye protsessy na territorii SSSR* [Morphosculpture and exogenous processes

- in the USSR territory]. Moscow, 1975, 224 p. (in Russian)
7. Fedorovich, B.A. *Dinamika i zakonomernosti rel'yefoobrazovaniya pustyn'* [Dynamics and patterns of relief formation in deserts]. Moscow, Nauka, 1983, 238 p. (in Russian)
 8. Amaral, Y.T., dos Santos, E.M., Ribeiro, M.C., and Barreto, L. Landscape structural analysis of the Lençóis Maranhenses National Park: implications for conservation. *Journal for Nature Conservation*, 2019, vol. 51, no 125725. <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2019.125725>
 9. Coudie, A. Statistical laws and dun ridges in southern Africa. *Geogr. J.*, 1969, vol. 135, no 3, pp. 404–406. DOI: 10.2307/1797329
 10. Jiang, Z. Modern sedimentary system and windfield-source-basin system dynamics of Qinghai Lake. *Sedimentary dynamics of windfield-source-basin system*. Springer Geology. Springer, Singapore. 2018, pp. 79–120. DOI:10.1007/978-981-10-7407-3_3
 11. Song, C.H., Fang, X.M., Shi, Y.M. et al. Characteristics and formation of aeolian dunes on western shore of the Qinghai Lake. *J Desert Res.*, 2000, vol. 20(4), pp. 443–446.