
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОСМИЧЕСКОЙ
ИНФОРМАЦИИ О ЗЕМЛЕ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОСМИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ
КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ МОРФОЛОГИЧЕСКОЙ
СТРУКТУРЫ ГРЯДОВО-ВОЛНИСТЫХ ЛАНДШАФТОВ
СЕВЕРНОГО ПРИКАСПИЯ

© 2019 г. Т. В. Гонилов

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, географический факультет

E-mail: gonikov.timur@yandex.ru

Поступила в редакцию 21.05.2018 г.

В статье представлены результаты изучения ландшафтных рисунков с широким развитием бэровских бугров на территории Северного Прикаспия на основе подходов математической морфологии ландшафта. Приведена методика исследования рисунков с привлечением данных дистанционного зондирования (ДЗ) с применением математического аппарата. На основании математического анализа рисунка шести эталонных участков выявлено, что периметры и диаметры гряд рассматриваемой группы ландшафтов подчиняются логнормальному распределению. Дискретные показатели, характеризующие расположение гряд, в большинстве случаев подчиняются закону Пуассона. Выявлено, что эрозионная деятельность рек, разрушающих бугры, нарушает логнормальность распределения их диаметров. Рассмотрены аргументы в пользу различных теорий происхождения бэровских бугров с точки зрения количественных закономерностей строения морфологической структуры.

Ключевые слова: бэровские бугры, рисунок ландшафта, морфологическая структура, математическая морфология ландшафта, дельта Волги, грядовый рельеф, математические методы в географии

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0205-96142019138-46>

ВВЕДЕНИЕ

Грядово-волнистые полупустынные и пустынные ландшафты являются уникальными природными объектами, распространенными на обширных территориях Северного Прикаспия (Гудилин, 1987). Большая их часть приурочена к дельтам крупных рек (Волга, Урал, Эмба), дренирующим Прикаспийскую низменность. Главная особенность этих ландшафтов — чередование бэровских бугров, ильменей, солончаковых комплексов. Бэровские бугры представляют собой субширотно вытянутые гряды, или гривы, и являются уникальными геоморфологическими образованиями. В данной работе рассматриваются те территории, где распространение бугров носит массовый характер.

Наиболее обширное распространение бэровских бугров приходится на западную часть дельты Волги. Данные ландшафты также носят название Западных ильменей. Здесь бэровские бугры простираются на сотни километров, имея строго широтное направление. В восточной части Волжской дельты распространены Восточные ильмени. Их площадь много меньше, направление также широтное (Захаров, 1975).

Многочисленные гряды разбросаны также по площади современной дельты. Здесь они частично разрушены деятельностью водотоков, поэтому их морфология отличается от грядово-волнистых ландшафтов Западных и Восточных ильменей.

Следующий ареал распространения бугров находится в западной части дельты Урала, южнее обширных территорий Рын-песков. Крупный ареал располагается между дельтами рек Эмбы и Урала.

Отдельные, не столь массовые, скопления грядовых комплексов, встречаются в пределах Терско-Кумской низменности, Кумо-Маньчской впадины, южнее оз. Баскунчак.

Особенность ландшафтной структуры ландшафтов с участием бугров Бэра определяется контрастностью рельефа. В качестве фактора подобный грядовый рельеф обуславливает особенности увлажнения территории, и, как следствие, дифференциацию почвенного и растительного покровов.

Феномен бэровских бугров, впервые описанных К. Бэром в 1866 г., уже более ста лет привлекает внимание географов. Одной из самых актуальных тем исследований бэровских бугров всегда был вопрос об их происхождении. Как правило, исследователями рассматриваются четыре

основные гипотезы — морская, эрозионная, эоловая и полигенетическая.

Морская гипотеза объясняет происхождение бугров существованием особой морской обстановки осадконакопления и циркуляции вод. Однако стоит отметить, что среди ее сторонников не наблюдается единства мнений насчет самого механизма образования грядового рельефа. Так, Г.Ф. Красножон (1961), Н.Г. Суханова (1979), Л.А. Жиндарев (2001), С.А. Сладкопечев (1965) склонны объяснять формирование гряд особым видом приливо-отливной деятельности в условиях мелководья. В свою очередь в работах В.А. Николаева (1962) дается обоснование прибрежно-волнового механизма. Помимо этого, встречаются работы, где в качестве основного фактора выступают морские течения, которые являются агентом, способствующим размыву цельной алевритовой толщи (Бадюкова, 1996).

Среди сторонников *эрозионной гипотезы* наблюдается большее единство относительно определения механизма формирования бэровских бугров. Работы по обоснованию гипотезы публикуют Л.В. Захаров (1973), Г.Ф. Якубов (1953), М.М. Жуков (1945), А.Г. Доскач (1962), В.М. Седайкин (1985). Сценарий формирования бугров эрозионным путем — это размыв целостной толщи поверхностных отложений временными водотоками по направлению волжского стока.

Эоловая гипотеза также имеет много сторонников. К ним относятся такие специалисты, как, Г.И. Рычагов (1958, 2002), В.П. Батурина (1951), К.К. Маркова (1954). Большинство из них придерживается мнения, что бэровские бугры являются крупными барханными структурами, которые формировались перпендикулярно направлению ветров. Альтернативным является мнение о том, что бугры представляют собой эоловые гряды, т.е. формировались параллельно действию ветра (Белевич, 1979).

Важнейшими работами последних лет являются публикации А.А. Свиточа, Т.С. Ключиткиной (2003–2006). В работе «Бэровские бугры Нижнего Поволжья» (2006) собран обширный фактический материал, а также обобщены представления о многообразии существующих гипотез. Здесь же приведены весомые доводы в пользу полигенетического поэтапного формирования бэровских бугров.

Изучением происхождения бэровских бугров традиционно занимаются в рамках геоморфологии, палеогеографии, геологии. При этом на данный момент остается неизученным ландшафтный рисунок, сформированный бэровскими буграми и сопутствующими им ильменями (рис. 1),



Рис. 1. Пример рисунка бэровских бугров в сочетании с соровыми солончаками по понижениям (Западный Казахстан) на материалах космической съемки.

информация о происхождении ландшафта, которую он содержит. Спецификой данной работы является подход, основанный на изучении рисунка ландшафта или ландшафтной мозаики (Викторов, 1986).

Цель настоящей работы — выявление закономерностей строения морфологических структур (ландшафтных рисунков) ландшафтов с широким развитием бэровских бугров на основе данных дистанционного зондирования.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Основой решения поставленной задачи явилось использование материалов космической съемки, представляющей уникальную информацию о морфологической структуре ландшафтов. Применение данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) является одной из основ методологии математической морфологии ландшафта. Космические снимки позволяют получать данные как о структурных особенностях ландшафтов, так и об их динамике (Викторов, Капралова, 2013).

Методика исследования включала следующие этапы:

1. Выбор эталонных участков дешифрирования, отражающих однородные ландшафтные рисунки. Было выбрано шесть участков (см. рис. 2). Критериями их выбора являлись массовость распространения грядовых комплексов, а также

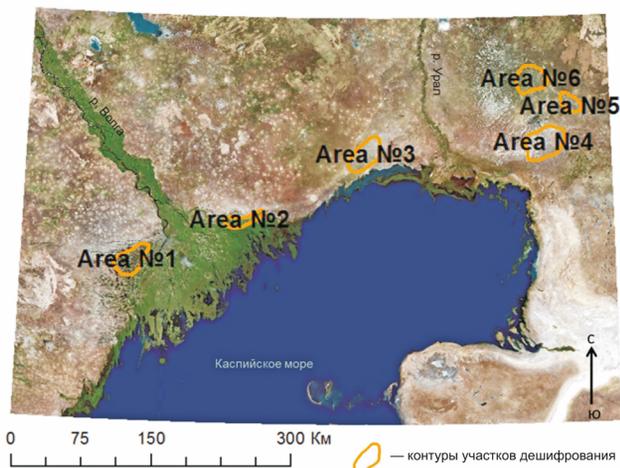


Рис. 2. Схема расположения эталонных участков (Северный Прикаспий).

однородность рисунка по направлению и конфигурации бугров (морфологическая однородность).

2. Подбор материалов ДЗ для эталонных участков. Основными материалами явились данные ДЗ: цифровые модели рельефа «Srtm» и высокодетальные снимки «Bing» и «Nokia», полученные в среде «SASPlanet». Разрешение использованных высокодетальных снимков составляло 1.2 м/пикс, в ходе работы использовалась стандартная цветопередача. Разрешение ЦМР «Srtm» — 90 м/пикс.

3. Создание схем ландшафтного дешифрирования методом ручного дешифрирования высокодетальных космических снимков в программной среде «ArcMap 10.3.» (рис. 3). Объектом выступают природно-территориальные комплексы, представленные двумя группами урочищ. Вытянутые гряды, занятые различными полупустынными фитоценозами на бурых пустынных почвах, — первая группа урочищ. Межбугровые понижения, которые могут быть представлены озерными субаквальными комплексами или солончаками с галофитной растительностью, — вторая группа.

4. Выбор и получение количественных характеристик морфологической структуры ландшафта. Морфологическая структура ландшафта в нашем случае отражается двумя типами показателей: первый — параметры, характеризующие особенности контуров бэровских бугров, второй — показатели расположения гряд в пространстве.

К параметрам, характеризующим морфометрию гряд, относятся: а) диаметры гряд, представляющие из себя длину отрезка, проведенного между точками начала и конца каждой гряды; б) площади контуров; в) периметры контуров (длина границы ландшафтного контура).

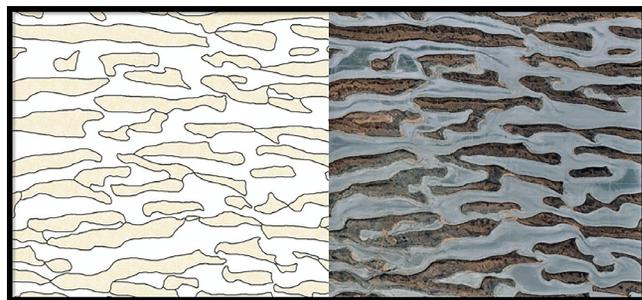


Рис. 3. Часть схемы дешифрирования эталонного участка Area_3. Условные обозначения:

-  — гряды, сложенные песками с прослоями глин, под редким покровом биюргуновой, биюргуново-чернопыльной и кокпеково-пыльной растительности на солончаках пустынных и солончаковатых почвах;
-  — межгрядные понижения, занятые сорвыми солончаками, под редкой галофитной растительностью, на сорвых почвах.

Расположение гряд исследовалось с помощью анализа распределения особых точек морфологической структуры. Они включали: а) точки начала гряд; б) точки пересечения и примыкания гряд; в) точки окончания гряд. Точками начал гряд считались точки западной ориентации гряд (все бугры независимо от участка имеют субширотную ориентацию). Точками окончания гряд считались восточные точки каждой отдельной гряды.

На каждый слой с точками в программной ГИС-среде образом накладывалось три слоя с окружностями, радиусами $R, 1.5R, 2R$

$$R = \sqrt{\frac{S}{n\pi}}$$

где S — площадь эталонного участка, n — количество особых точек на участке.

Для каждой окружности внутри слоя считалось количество точек, попадающих в круг. Наложение окружностей происходило случайным образом с применением генератора случайных чисел в программном модуле «Poisson» для «ArcMap 10.3». В результате обработки получалась совокупность данных, состоявшая из трех выборок с дискретными показателями для каждого выбранного участка.

5. Проверка полученных данных на соответствие статистическим законам распределения по критерию Пирсона. Полученные характеристики проверялись на соответствие статистическим законам распределения в программе «Statistica 13». Эмпирические распределения диаметров, периметров и площадей проверялись на соответствие логнормальному, гамма- и экспоненциальному распределению. Распределение числа особых точек морфологической структуры, проверялось на

соответствие закону Пуассона. Выходным параметром, позволяющим судить о сходстве теоретического и существующего распределения, являлась величина «p-level». «P-level» — величина, используемая при тестировании статистических гипотез; в том случае, если его показатели превышают 0.05, в рамках данного исследования корректно говорить, что распределение данных соответствует определенному статистическому закону на уровне значимости 0.95 (Крамер, 1975).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Было проанализировано 32 выборки, результаты занесены в две сводные таблицы (табл. 1–2). Полученные расчеты позволили выявить существование статистических закономерностей морфологической структуры рассматриваемых ландшафтов.

Анализ средних арифметических значений параметров (табл. 2) позволяет заключить, что средние значения диаметров гряд располагаются

в пределах 531–2496 м. С одной стороны, это дает основания говорить, что данные цифры вполне сопоставимы, с другой, — что размер бэровских бугров может сильно изменяться в зависимости от их территориальной приуроченности. Таким образом, самые длинные бугры расположены на участках Area № 1 (2246 м) и Area № 5 (2496 м), а короткие — на участке Area № 6 (531 м). Аналогичный вывод касается периметров грядовых ландшафтных контуров. Площади же ведут себя менее однородно. Наибольшие площади грядовых комплексов характерны для участка Area № 5 (996596 м²), а минимальные — для выборки Area № 4 (482445 м²). Различие показателей достигает двукратных размеров.

Очевидной закономерностью видится одинаковое поведение диаметров и периметров гряд. Оно указывает на то, что данные характеристики для данных контуров взаимосвязаны. Такое сходство объясняется линейной формой изучаемых ландшафтных контуров, которая определяет корреляцию диаметров и периметров. Совместное

Таблица 1–2. Результаты сопоставления эмпирических и теоретических распределений характеристик морфологической структуры участков

№ участка	Количественный показатель гряд	Объем выборки	Среднее, м	Уровень значимости (p-value) на соответствие распределению		
				Логнормальное	Гамма-распределение	Экспоненциальное
Area № 1	диаметры	313	2246	0.503	0.153	0.000
	периметры	300	4866	0.781	0.594	0.000
	площади	300	644206	0.032	0.057	0.117
Area № 2	диаметры	122	1529	0.006	0,015	0.000
Area № 3	диаметры	217	2008	0.222	0.406	0.000
	периметры	279	4281	0.068	0.616	0.000
	площади	279	528173	0.000	0.112	0.057
Area № 4	диаметры	192	1412	0.053	0.000	0.000
	периметры	193	3187	0.192	0.001	0.000
	площади	193	482445	0.599	0.013	0.000
Area № 5	диаметры	141	2496	0.103	0.436	0.000
	периметры	145	5648	0.585	0.210	0.000
	площади	145	996596	0.449	0.341	0.000
Area № 6	диаметры	106	531	0.180	0.158	0.005

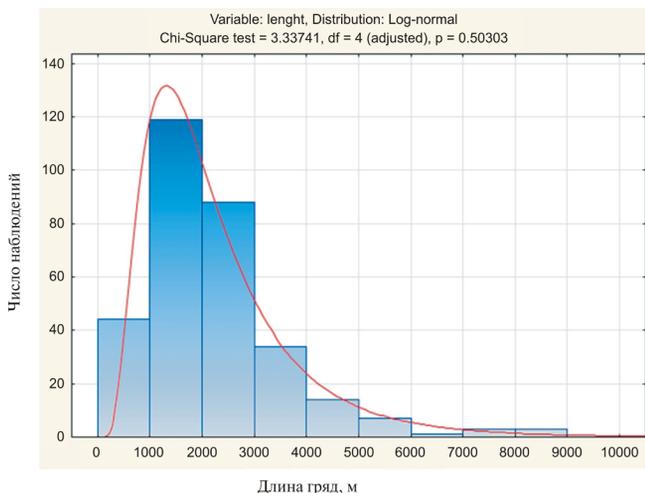


Рис. 4. График функции плотности распределения и гистограмма распределения диаметров гряд для участка Area № 1.

рассмотрение данных параметров не является излишним; в некоторых случаях наблюдается сильное расхождение поведения двух параметров, требующее дальнейшего объяснения.

Наиболее содержательным результатом статистических расчетов является выявленное соответствие показателя диаметров гряд логнормальному распределению. Фактически оно на уровне значимости 0.95 было подтверждено для пяти участков. Наблюдается случай, когда величина «p-level» показывает значение, не превышающее 0.05. Наиболее ярким примером этого является участок Area № 2. В остальных случаях рассматриваемые данные подчинялись логнормальному распределению со значениями «p-level» от 0.053 до 0.781.

Типичный график функции плотности распределения для случая совпадения с логнормальным распределением представлен на рис. 4. Анализ распределения диаметров на представленном графике указывает на его асимметрию, наблюдается разброс в сторону больших значений длин гряд. Эти случаи представлены редкими крупными буграми, простирающимися на 5–10 тыс. м. Отметим, что на участке Area № 2 наблюдается сильное воздействие на бугры со стороны эрозионной деятельности современных рек дельты Волги, изначальная морфология нарушена, и различие между рисунком с разрушенными буграми и типичным рисунком бэровских бугров находит свое отражение в статистической картине.

Таким образом, распределение диаметров гряд (d) в пределах однородного участка задается выражением

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

где μ и σ — параметры распределения.

Проверка *показателей расположения гряд* на соответствие распределению Пуассона демонстрирует более пестрые результаты (табл. 3). Расчеты показывают, что показатели уровня значимости сильно варьируют в пределах исследования одного типа особых точек в зависимости от радиуса задаваемой окружности. Поэтому, целесообразнее всего делать вывод о существовании закона Пуассона по совокупности полученных данных.

Исходя из этого положения, можно заключить, что существование закона распределения

Таблица 3. Результаты сопоставления эмпирических и теоретических распределений числа особых точек рисунка на случайно выбранной площадке

№ участка	Морфометрические характеристики	Объем выборки	Уровень значимости (p-value) на соответствие распределению Пуассона		
			R	1.5R	2R
Area № 1	Точки начал гряд	163	0.044	0.331	0.098
	Точки примыкания гряд	124	0.019	0.510	0.373
	Точки окончания гряд	184	0.115	0.170	0.109
Area № 2	Точки начал гряд	187	0,030	0.176	0.465
	Точки примыкания гряд	118	0.129	0.178	0.019
	Точки окончания гряд	183	0.019	0.095	0.047
Area № 3	Точки начал гряд	189	0.010	0.010	0.115
	Точки примыкания гряд	105	0.118	0.245	0.223
	Точки окончания гряд	190	0.006	0.100	0.460

Area № 4	Точки начал гряд	135	0.012	0.005	0.000
	Точки примыкания гряд	191	0.267	0.471	0.117
	Точки окончания гряд	130	0.000	0.000	0.000
Area № 5	Точки начал гряд	269	0.068	0.004	0.000
	Точки примыкания гряд	270	0.526	0.007	0.001
	Точки окончания гряд	115	0.011	0.010	0.000
Area № 6	Точки начал гряд	275	0.053	0.142	0.011
	Точки примыкания гряд	114	0.103	0.005	0.014
	Точки окончания гряд	264	0.010	0.044	0.245

Пуассона подтверждается для всех особых точек участков Area № 1, № 2, № 3, № 6, а также для точек сочленения гряд участков Area № 4 и № 5. Стоит отметить, что случаи, когда закон Пуассона не подтверждается, могут быть обусловлены не только географическими факторами, но и несовершенством методики расчета.

Данные закономерности позволяют задать математическое описание пространственно-варьирования особых точек морфологической структуры. В пределах однородного участка ландшафтного рисунка грядово-волнистых ландшафтов, расположение особых точек подчиняется закону Пуассона и описывается выражением

$$p(k) = \frac{\lambda^k}{k!} e^{-\lambda}, \quad (2)$$

где λ — параметр распределения.

Приведенные формулы (1) и (2) нельзя считать полноценной моделью, так как они не основаны на изучении механизма формирования и динамики грядовых комплексов. Однако их использование важно с точки зрения описания и анализа происхождения рисунка. Результаты изучения количественных закономерностей с высокой степенью достоверностью демонстрируют, что рисунок грядово-волнистых ландшафтов может быть описан математически. Задачей дальнейших исследований будет раскрытие и математическое моделирование процессов формирования морфологической структуры, стоящих за выявленными выражениями.

ОБСУЖДЕНИЕ

Перспективы рассмотрения вопроса о генезисе бэровских бугров с точки зрения изучения их в рамках математической морфологии ландшафта

сводятся к сравнению полученных эмпирических данных с уже существующими каноническими математическими моделями ландшафтных рисунков. Логично предположить, что для сравнительного анализа стоит выбрать модели, характеризующие грядовые или линейные формы, а также описывающие один из генетических процессов, который совпадает с одной из гипотез возникновения бугров Бэра. Таким образом, под это условие попадают две канонические математические модели: модель ландшафтного рисунка эрозионных равнин и модель эоловых песчаных равнин (Викторов, 2006). Сопоставление с эрозионными моделями при этом не имеет под собой смысла с точки зрения геоморфологического строения — сравнение выпуклых форм рельефа с вогнутыми эрозионными формами некорректно.

Каноническая математическая модель эоловых равнин включает в себя изучение таких морфометрических показателей, как начальные точки гряд, конечные точки гряд, точки примыканий гряд, а также длины гряд. С этой точки зрения, их сравнение с морфометрическими показателями бэровских бугров вполне корректно.

Согласно эоловой модели, подтверждающейся экспериментальными данными, точки начал, окончания и примыкания гряд описываются законом Пуассона. Подобная закономерность в целом совпадает с результатами, полученными в ходе нашего исследования. Однако сравнение статистических распределений длин гряд классических эоловых форм и диаметров бэровских бугров обнаруживает несоответствие. Диаметры (длины) гряд в рамках морфологической структуры эоловых песчаных равнин распределены экспоненциально (Викторов, 2006), тогда как диаметры бугров, согласно полученным данным, описываются логнормальным и гамма-распределениями.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Указанное в работе подобное различие позволяет заключить, что классический эоловый рисунок, сформированный грядовыми формами рельефа, отличается от рисунка с участием бугров Бэра. Впрочем, подобного заключения не достаточно, чтобы полностью опровергнуть эоловую гипотезу возникновения бэровских бугров, так как можно предположить, что действующий здесь механизм эоловой аккумуляции мог иметь свои особенности, и, соответственно, сформировать рисунок, который описывается другими математическими закономерностями.

Наконец, стоит обратиться к популярной в последнее время *полигенетической гипотезе* происхождения бэровских бугров (Доскач, 2002; Свиточ, 2006). В данном случае возможности проведения сравнительного анализа ограничены. Однако эмпирические данные о существующих закономерностях строения рисунка бэровских бугров позволяют поставить под сомнение то, что указанная морфологическая структура была создана несколькими, последовательно сменяющимися друг друга, генетическими процессами.

Во-первых, логнормальное распределение параметров часто интерпретируется географами как показатель действия единого процесса (Пузаченко, 2004), что противоречит полигенетической гипотезе.

Во-вторых, пример воздействия эрозионной деятельности рек на бэровские бугры участка Агеа № 2 показывает, что данный эффект усложняет статистическую картину распределения изначальной морфологической структуры. Отсюда можно сделать вывод, что чередование нескольких генетических процессов не сформировало бы столь однородный рисунок, который в большинстве случаев описывается статистическими законами.

Стоит заметить, что полученные данные не опровергают отсутствие воздействия нескольких генетических процессов на бэровские бугры. Скорее, они говорят о том, что изначальная морфологическая структура и полосчатость рисунка явились результатом действия единого процесса. Последующее воздействие других геоморфологических факторов изменяло структуру бэровских бугров уже на уровне фациальном или подурочищном, не меняя его общей конфигурации.

В целом, изучение закономерностей строения ландшафтных рисунков грядово-волнистых равнин на основе материалов космических съемок позволило сделать ряд следующих выводов:

— Соответствие распределения параметров бэровских бугров логнормальному распределению

может говорить о едином генетическом процессе, сформировавшем эти структуры.

— Распределение особых точек по закону Пуассона может свидетельствовать о пространственной однородности и стохастическом характере процесса, сформировавшего ландшафтные рисунки.

— Различия в значениях параметров морфологической структуры эталонных участков демонстрируют пространственную изменчивость рисунков с массовым распространением бугров Бэра в пределах Северного Прикаспия.

— Сравнительный анализ с канонической математической моделью выявил отличия в закономерностях строения рисунков бэровских бугров от классических эоловых рисунков.

— Выявленные статистические закономерности строения грядово-волнистых ландшафтов не подтверждают полигенетическую гипотезу происхождения бугров Бэра.

Источник финансирования. Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 18-05-00723.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бадюкова Е.Н.* Новые данные о морфологии и строении бэровских бугров // Геоморфология. 2005. № 4. С. 25–38.
- Белевич Е.Ф.* О происхождении бугров Бэра // Геоморфология. 1979. № 2. С. 57–68.
- Брицына М.Л.* О происхождении рельефа бэровских бугров низовьев Волги. Сб. Памяти акад. Л.С. Берга. / Ред. М.Л. Брицына. М., Л.: АН СССР, 1955. С. 320–330.
- Викторов А.С.* Основные проблемы математической морфологии ландшафта. М.: Наука, 2006. 252 с.
- Викторов А.С.* Рисунок ландшафта. М.: Мысль, 1986. 179 с.
- Викторов А.С., Капралова В.Н.* Количественная оценка природных рисков на основе материалов космических съемок (на примере озерно-термокарстовых равнин) // Исслед. Земли из космоса. 2013. № 4. С. 33–39.
- Гудилин И.С.* (отв. ред.). Ландшафтная карта СССР. Легенда. М.: Министерство геологии СССР, 1987. 340 с.
- Доскач А.Г.* Геоморфологические наблюдения в районе развития бугров Бэра / Ред. А.Г. Доскач // Тр. Института географии АН СССР. 1949. Т. 43. Вып. 2. С. 19–32.
- Жиндарев Л.А., Никифоров Л.Г., Рычагов Г.И.* Морфолитодинамика береговой зоны приустьевых областей и проблема происхождения бэровских бугров // Вестн. МГУ. Сер. 5. Геогр. 2001. № 1. С. 44–52.
- Захаров Л.З.* Генезис, распространение и эволюция бэровских бугров / Ред. Л.З. Захаров // Изв. АН СССР. Геогр. 1975. № 2. С. 64–70.
- Захаров Л.З.* Бэровские бугры в дельтах рек каспийского бассейна / Ред. Л.З. Захаров // Природа. 1948. С. 54–89.
- Иванова Г.А.* К вопросу о происхождении бэровских бугров / Ред. Г.А. Иванова // Тр. Ин-та геогр. АН СССР. 1952. Т. 51. С. 277–391.

- Крамер Г.* Математические методы статистики. М.: Мир, 1975. 648 с.
- Красножон Г.Ф., Сидорова А.Г.* Трансформация волн на мелководье // Управление поверхностными и подземными водными ресурсами и их использование. М.: АН СССР, 1961. С. 161–208.
- Леонтьев О.К.* Происхождение и возраст бэровских бугров / Ред. О.К. Леонтьев, Н.Н. Фотева // Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1965. № 2. С. 90–97.
- Нижняя Волга: геоморфология, палеогеография и русловая морфодинамика // Ред. Г.И. Рычагов, В.Н. Коротаев. М.: ГЕОС, 2002. 242 с.
- Николаев В.А.* Геологическая история, рельеф и аллювиальные отложения // Природа и сельское хозяйство Волго-Ахтубинской долины и дельты Волги. М.: МГУ, 1962. С11–56.
- Пузаченко Ю.Г.* Математические методы в экологических и географических исследованиях. М.: Академия, 2004. 416 с.
- Рычагов Г.И.* Плейстоценовая история Каспийского моря. М.: МГУ, 1997. 266 с.
- Рычагов Г.И.* Бэровские бугры / Ред. Г.И. Рычагов // Тр. Прикаспийской экспедиции. М.: МГУ, 1958. С. 190–223.
- Свиточ А.А.* Бэровские бугры Нижнего Поволжья: Монография / Ред. А.А. Свиточ, Т.С. Ключевкина. М.: Типогр. Россельхозакадемии, 2006. 160 с.
- Седайкин В.М.* К вопросу о происхождении и возрасте бэровских бугров Нижнего Поволжья / Ред. В.М. Седайкин // Вопр. геоморф. Поволжья. Саратов, 1977. Вып. 1. № 4. С. 17–27.
- Сладкопевцев С.А.* О происхождении бугров Бэра / Ред С.А. Сладкопевцев // Вестн. МГУ. Сер. 5. Геогр. 1965. № 1. С. 80–84.
- Якубов Т.Ф.* Происхождение Бэровских бугров в Прикаспийской низменности / Ред. Т.Ф. Якубов // Тр. Института географии АН СССР. 1952. Т. 51. С. 253–277.

Using Remote Sensing to Studying Quantitative Properties of Ridge Landscapes Morphological Structure in the Caspian Lowland

T. V. Gonikov

Moscow State University, Faculty of Geography, Moscow

E-mail: gonikov.timur@yandex.ru

The paper presents the results of studying ridge landscape patterns (formed by Baer mounds) of the Northern Caspian region on the basis of the mathematical landscape morphology approaches. A methodology for studying patterns includes the use of remote sensing data and mathematical methods. Mathematical analysis of six sample areas has revealed that the perimeters and diameters of the ridges fit the lognormal distribution. Discrete indicators that characterize the location of the ridges, complies Poisson's distribution in most cases. It was revealed that the river erosion destroys the moan's morphology which leads to their diameters does not fit the lognormal distribution. We test the arguments in favor of various theories of the Baer mounds origin from the point of view of the quantitative features of the morphological structure.

Keywords: Baer mounds, landscape pattern, landscape patch studies, morphological structure, landscape mathematical morphology, Caspian lowland, ridge landforms, mathematical methods in geography

REFERENCES

- Badyukova E.H.* Novyye dannyye o morfologii i stroyenii berovskikh bugrov [New data on the morphology and structure of Baer hillocks] // Geomorfologiya. 2005. № 4. S. 25–38. (In Russian).
- Belevich Ye.F.* O proiskhozhdenii bugrov Bera [On the origin of the Baer hillocks] // Geomorfologiya. 1979. № 2. S. 57–68. (In Russian).
- Britsyna M.L.* O proiskhozhdenii rel'yefa berovskikh bugrov nizov'ye Volgi. Sb. Pamyati akad. L.S. Berga [On the origin of the relief of the Baer bogs of the lower reaches of the Volga. Sat. In memory of acad. L.S. Berg] / Red. M.L. Britsyna. M., L.: AN SSSR, 1955. S. 320–330. (In Russian).
- Viktorov A.S.* Osnovnyye problemy matematicheskoy morfologii landshafta. [The main problems of the mathematical morphology of the landscape.] М.: Nauka, 2006. 252 s. (In Russian).
- Viktorov A.S.* Risunok landshafta. [The Landscape Picture.] М.: Mysl', 1986. 179 s. (In Russian).
- Viktorov A.S., Kapralova V.N.* Kolichestvennaya otsenka prirodnykh riskov na osnove materialov kosmicheskikh s'yemok (na primere ozerno-termokarstovykh ravnin) [Quantitative assessment of natural risks based on materials from space surveys (on the example of lake-termokarst plains)] // Issled. Zemli iz kosmosa. 2013. № 4. S. 33–39. (In Russian).

- Gudilin I.S.* (otv. red.). Landshaftnaya karta SSSR. Legenda. [Landscape map of the USSR. Legend.] M.: Ministerstvo geologii SSSR, 1987. 340 s. (In Russian).
- Doskach A.G.* Geomorfologicheskiye nablyudeniya v rayone razvitiya bugrov Bera [Geomorphological observations in the Baer] / Red. A.G. Doskach // Tr. Instituta geografii AN SSSR. 1949. T. 43. Vyp. 2. S. 19–32. (In Russian).
- Zhindarev L.A., Nikiforov L.G., Rychagov G.I.* Morfolitodinamika beregovoy zony priust'yevykh oblastey i problema proiskhozhdeniya berovskikh bugrov [Morpholithodynamics of the coastal zone of the mouth areas and the problem of the origin of the Baerbumps] // Vestn. MGU. Ser. 5. Geogr. 2001. № 1. S. 44–52. (In Russian).
- Zakharov L.Z.* Genezis, rasprostraneniye i evolyutsiya berovskikh bugrov [Genesis, distribution and evolution of Baer bumps] / Red. L.Z. Zakharov // Izv. AN SSSR. Geogr. 1975. № 2. S. 64–70. (In Russian).
- Zakharov L.Z.* Berovskiye bugry v del'takh rek kaspiskogo basseyna [The Baer hillocks in the deltas of the rivers of the Caspian basin] / Red. L.Z. Zakharov // Priroda. 1948. C. 54–89. (In Russian).
- Ivanova G.A.* K voprosu o proiskhozhdenii berovskikh bugrov [On the origin of the Baer bumps] / Red. G.A. Ivanova // Tr. In-ta geogr. AN SSSR. 1952. T. 51. C. 277–391. (In Russian).
- Kramer G.* Matematicheskiye metody statistiki. [Mathematical methods of statistics]. M.: Mir, 1975. 648 s. (In Russian).
- Krasnozhon G.F., Sidorova A.G.* Transformatsiya voln na melkovod'ye [Transformation of waves in shallow water] // Upravleniye poverkhnostnymi i podzemnymi vodnymi resursami i ikh ispol'zovaniye. M.: AN SSSR, 1961. S.161–208. (In Russian).
- Leont'yev O.K.* Proiskhozhdeniye i vozrast berovskikh bugrov [Origin and Age of Baer Bumps] / Red. O.K. Leont'yev, H.H. Foteyeva // Izv. AN SSSR. Ser.geogr. 1965. № 2. C. 90–97. (In Russian).
- Nizhnaya Volga: geomorfologiya, paleogeografiya i ruslovaya morfodinamika [Lower Volga: geomorphology, paleogeography and channel morphodynamics] // Red. G.I. Rychagov, V.N. Korotayev. M.: GEOS, 2002. 242 s. (In Russian).
- Nikolayev V.A.* Geologicheskaya istoriya, rel'yef i allyuvial'nyye otlozheniya [Geological history, relief and alluvial deposits] // Priroda i sel'skoye khozyaystvo Volgo-Akhtubinskoy doliny i del'ty Volgi. M.: MGU, 1962. S.11–56. (In Russian).
- Puzachenko Yu.G.* Matematicheskiye metody v ekologicheskikh i geograficheskikh issledovaniyakh. [Mathematical methods in ecological and geographical studies.] M.: Izdat. tsentr "Akademiya", 2004. 416 s. (In Russian).
- Rychagov G.I.* Pleystotsenovaya istoriya Kaspiskogo morya. [Pleistocene history of the Caspian Sea.] M.: MGU, 1997. 266 s. (In Russian).
- Rychagov G.I.* Berovskiye bugry [The Baer hillocks] / Red. G.I. Rychagov // Tr. Prikaspiyskoy ekspeditsii. M.: MGU, 1958. S. 190–223. (In Russian).
- Svitoch A.A.* Berovskiye bugry Nizhnego Povolzh'ya: Monografiya [The Baer Hills of the Lower Volga Region: Monograph] / Red. A.A. Svitoch, T.S. Klyuvitkina. M.: Tipogr. Rossel'khozakademii, 2006. 160 s. (In Russian).
- Sedaykin V.M.* K voprosu o proiskhozhdenii i vozraste berovskikh bugrov Nizhnego Povolzh'ya [To the question of the origin and age of the Baer bogs of the Lower Volga Region] / Red. V.M. Sedaykin // Vopr. geomorf. Povolzh'ya. Saratov, 1977. Vyp. 1 (4). S. 17–27. (In Russian).
- Sladkopevtsev S.A.* O proiskhozhdenii bugrov Bera [On the origin of the Baer] / Red S.A. Sladkopevtsev // Vestn. MGU. Ser. 5. Geogr. 1965. № 1. S. 80–84. (In Russian).
- Yakubov T.F.* Proiskhozhdeniye Berovskikh bugrov v Prikaspiyskoy nizmennosti [The origin of the Baer hills in the Caspian lowland] / Red.T.F. Yakubov // Tr. Instituta geografii AN SSSR. 1952. T. 51. S. 253–277. (In Russian).