# экология

#### Е. М. Бурнашов, К. В. Карманов

### ДЕФЛЯЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ НА МОРСКОМ ПОБЕРЕЖЬЕ КУРШСКОЙ КОСЫ

## E. M. Burnashov, K. V. Karmanov

# DEFLATION PROCESSES ON THE SEA SHORE OF THE CURONIAN SPIT

В статье представлены основные результаты обследований 333 котловин выдувания, расположенных на морской авандюне российской части Куршской косы. Разработана классификация дефляционных котловин и методика их определения, учитывающая все основные параметры котловин. Количественный анализ развития дефляционных процессов с 2007 по 2016 г. показал увеличение количества котловин в 1,5 раза.

Ключевые слова: морской берег, авандюна, дефляция, котловины выдувания, Куршская коса.

In this paper presents results from survey of 333 eolian blowouts on the Curonian Spit foredune, Kaliningrad region. The methodic of measurements and classification by all basic parameters of blowouts was developed. The quantitative analysis of blowouts development reveals that from 2007 to 2016 quantitative of blowouts was increased almost 1.5 times.

Keywords: seacoasts, foredune, deflation, eolian blowouts, the Curonian Spit.

#### Введение

Самой крупной береговой аккумулятивной формой на побережье Балтийского моря является Куршская коса (пересыпь). Она начинается у города Зеленоградск, вытянута в северо-восточном направлении и заканчивается напротив г. Клайпеда, отделенная от него узким проливом шириной 400–650 м. Протяженность Куршской косы составляет 98 км, в пределах Калининградской области — 49 км, в том числе в границах Национального парка «Куршская коса» — 47 км. В плане коса имеет вид пологой дуги. Восточное побережье косы, обращенное к одноименному заливу (лагуне), имеет довольно извилистые очертания (рис. 1) [4].

Морской берег Куршской косы представлен пляжем и авандюной, а в локальных местах прикорневой части косы — низкой, до 5 м, равнинной террасой (пальве). Для всего морского берега Куршской косы Калининградской области характерно изменяющееся вдоль берега чередование локальных морфодинамических фрагментов, которые объединены по динамическим параметрами берега и по бюджету наносов в три морфодинамические участка [1, 2, 3].

Первый участок от восточной части г. Зеленоградска протяженностью 12 км занимает 24 % всего морского берега Куршской косы. Участок дефицита песчаных наносов и повсеместных размывов морского берега.

Второй участок от 12 км Куршской косы до пос. Рыбачий протяженностью 21 км занимает 43 % всего морского берега Куршской косы. Участок транзита наносов с признаками временного дефицита.

Третий участок — от пос. Рыбачий до российско-литовской границы —протяженностью 16 км занимает 33 % всего морского берега российской части Куршской косы. Участок транзита и частичной аккумуляции песчаных наносов [2, 3, 4].



Рис. 1. Схема расположения Куршской косы

Рельеф морской авандюны на всех участках Куршской косы сильно осложнен многочисленными и многообразными дефляционными котловинами. В основном они сосредоточены на морском склоне авандюны, и часто под действием ветра песок перемещается в тыльную ее часть, погребая под собой лесной массив Национального парка «Куршская коса». Сквозные котловины выдувания прорезают дюнную гряду насквозь и во время экстремальных штормов являются местом прорыва морских вод за авандюну, что может приводить к подтоплению пониженных участков территории Национального парка. В свою очередь подтопление таких территорий приводит к нарушению и гибели определенных биоценозов и чувствительных экосистем.

Наличие большого количества котловин выдувания на авандюне Куршской косы обусловлено развитием деструктивных эоловых процессов. Во всем мире развитие дефляционных процессов на песчаных берегах аккумулятивного типа имеет схожие общие формы в виде котловин выдувания. Изучение развития дефляционных процессов на аккумулятивных песчаных берегах имеет важное научное значение для определения форм дефляционных элементов и причин их возникновения в том или ином виде. В большинстве отечественной и зарубежной научной литературы встречается всего лишь 2–4 типа дефляционных котловин (V-образные, корытообразные или чашеобразные, сквозные и полусквозные) [3–6, 8–10]. Однако многообразие форм и типов дефляционных котловин, которые встречаются на Куршской косе, намного больше. Изучение этих форм дефляционных котловин позволит сделать новые выводы об их образовании и развитии.

Изучение котловин выдувания на авандюне Куршской косы имеет также большое практическое значение для Национального парка «Куршская коса», так как обеспечение целостности авандюны — это залог сохранения уникальных природных комплексов окружающей среды Национального парка, находящихся как на авандюне, так и в прилегающих к ней лесных массивах.

Целью первого этапа научных исследований дефляционных процессов являлось определение всех существующих на авандюне Куршской косы форм котловин выдувания и распределение их по типам.

Для достижения указанной цели были поставлены и решены следующие задачи:

- анализ котловин выдувания авандюны Куршской косы с помощью спутниковых снимков за период с 2007 по 2014 г.;
- проведение полевых обследований морской авандюны российской части Куршской косы на протяжении 47 км в 2016 г.;
- составление схемы современного расположения котловин выдувания на морской авандюне российской части Куршской косы;
- разработка классификации и методики определения котловин выдувания по типам и формам;
- определение типов котловин в соответствии с разработанной классификацией;
- создание информационной базы данных котловин выдувания на морской авандюне Куршской косы.

Вторым этапом научных исследований дефляционных процессов в 2016 и 2017 г. будет детальное исследование типов и форм имеющихся котловин выдувания. С определением объемных 3D-параметров рельефа поверхности авандюны и котловин выдувания на Куршской косе и с расчетом объемов материала, перемещаемого под действием эоловых процессов, также будет рассматриваться роль природных и антропогенных факторов в этих процессах.

#### Методика исследований и измерений

Данные дистанционного зондирования активно используются для выполнения исследований абразионных, дефляционных и аккумулятивных процессов, протекающих в пределах береговой зоны морей [8, 10, 11]. Количество дефляционных котловин на авандюне морского берега Куршской косы в 2007 и 2014 г. определялось путем анализа спутниковых снимков в программе Google Earth за соответствующие годы. Были выбраны 2007 и 2014 г., так как именно за эти два года в Google Earth было доступно покрытие всей исследуемой территории.

Выделение дефляционных котловин на спутниковых снимках проводилось визуально. Котловины хорошо прослеживаются на спутниковых снимках как понижения в рельефе (маркируется участками тени на поверхности авандюны) и прежде всего как участки авандюны без растительности.

Для определения точного количества дефляционных котловин на авандюне морского берега Куршской косы в 2016 г. проводились полевые работы. Работы основывались на результатах анализа спутниковых снимков 2014 г. В ходе полевых работ было выполнено уточнение географических координат котловин, сохранившихся с 2014 г., и определение координат новых котловин с помощью GPS навигатора Garmin 60 CSx в системе координат WGS-84.

На каждой дефляционной котловине был осуществлен комплекс работ, состоящий из четырех основных этапов, а именно:

- определение географических координат котловины;
- определение положения котловины в пределах элементов авандюны;
- измерение морфометрических параметров котловины;
- фотографирование дефляционных котловины.

Определение положения дефляционной котловины на авандюне выполнялось в пределах таких элементов авандюны как морской склон; вершина; тыльный склон.

В связи с тем, что дефляционные котловины могут занимать более одного элемента авандюны, были выделены возможные варианты расположения котловин: только на морском склоне; только на вершине; только на тыльном склоне; на морском склоне и вершине; на вершине и тыльном склоне; в пределах всех элементов авандюны.

В ходе полевых работ проводились измерения морфометрических параметров дефляционных котловин с помощью лазерного линейки Leica DistoD5. Измерялась максимальная глубина котловины, длина (протяженность длинной оси котловины) и ширина (протяженность вдоль короткой оси котловины в нижней и верхней частях).

Фотографирование дефляционных котловин выполнялось с целью создания фотоархива котловин, зафиксированных на морской авандюне Куршской косы в 2016 г. Дефляционные котловины, имеющие небольшой размер и занимающие один элемент авандюны, фотографировались с четырех сторон света в направлении к центру котловины. Котловины, распложенные на нескольких элементах авандюны, фотографировались также с четырех сторон света по направлению к котловине, но кроме этого делались дополнительные фотографии, например с пляжа, либо несколько фотографии вдоль длинной оси вытянутых котловин.

#### Классификация дефляционных котловин

На основании определенных параметров 333 дефляционных котловин была разработана общая классификация дефляционных котловин, основанная на морфометрических параметрах и пространственном расположении котловин в пределах авандюны. Общая классификация котловин выдувания основана на разделении (классифицировании) котловин на типы по пяти основным признакам:

- 1) по расположению котловины на авандюне;
- 2) по расположению котловины относительно береговой линии моря;
- 3) по форме верхней части котловины в плане;
- 4) по форме поперечного профиля котловины;

5) по размеру котловины, в зависимости от ее объема.

Первая классификация характеризует дефляционные котловины по их расположению на авандюне морского берега Куршской косы. Согласно данной классификации, котловины могут быть шести различных типов: фронтальные, поверхностные, тыльные, полусквозные фронтальные, полусквозные тыльные и сквозные (табл. 1).

Таблица 1

Тип котловины	Краткое описание типа
1. Фронтальная	Располагается на морском склоне авандюны
2. Поверхностная	Располагается на поверхности вершины авандюны
3. Тыльная	Располагается со стороны тыльного склона авандюны
4. Полусквозная фронтальная	Располагается на морском склоне и вершине авандюны
5. Полусквозная тыльная	Располагается на вершине и тыльном склоне авандюны
6. Сквозная	Располагается на всех элементах авандюны

#### Классификация дефляционных котловин по расположению на авандюне

Следующая классификация распределяет дефляционные котловины по типам на основании расположения котловины относительно береговой линии моря (т.е. под каким углом находится длинная ось котловины). В данной классификации было выделено четыре типа: перпендикулярные, параллельные, диагональные и округлые (табл. 2).

Таблица 2

## Классификация дефляционных котловин по расположению их относительно береговой линии моря

Тип котловины	Краткое описание типа
1. Параллельная	Длинная ось параллельна морю
2. Перпендикулярная	Длинная ось перпендикулярна морю
3. Диагональная	Длинная ось находится под углом в пределах 10-80° либо 100-170° к бере- говой линии
4. Округлая	Котловина имеет округлую форму

Также дефляционные котловины классифицировались по форме верхней части в плане. В данной классификации выделено шесть типов котловин: округлые, овальные, горловинные расширяющиеся, горловинные сужающиеся, спрямленные и изогнутые (табл. 3).

Таблица З (начало)

Тип котловины	Краткое описание типа
1. Округлая	Длина не превышает ширину более чем на 10 %
2. Овальная	Длина превышает ширину более чем на 10 %
3. Горловинная расширяющаяся	Котловина расширяется в направлении от моря к суше

#### Классификация дефляционных котловин по форме в плане

Окончание табл. 3

Тип котловины	Краткое описание типа
4. Горловинная сужающаяся	Котловина сужается в направлении от моря к суше
5. Спрямленная	Овальная котловина с одинаковой шириной по всей длине
6. Изогнутая	Длинная ось котловины изогнута

Дефляционные котловины классифицировались по форме поперечного профиля. Таким образом котловины могут быть традиционно либо V-образные либо корыто-образные (пологие) (табл. 4).

Таблица 4

#### Классификация дефляционных котловин по форме поперечного профиля

Тип котловины	Краткое описание типа
1. V-образная	Боковые склоны котловины имеют угол ≥30° при этом высота котловины больше ее ширины в нижней части
2. Корытообразная (пологая)	Боковые склоны котловины имеют угол <30°, либо если боковые склоны котловины имеют угол ≥30° и при этом высота котловины меньше ее ширины в нижней части

Последняя, пятая, классификация условно характеризует дефляционные котловины по объему (V), за который принималось значение, рассчитанное как:

$$V = \frac{LH(a+b)}{2},$$

где *L* — длина котловины, м; *a* — ширина котловины в основании, м; *b* — ширина котловины в верхней части, м; *H* — средняя глубина котловины, м.

В результате было выделено четыре типа котловин по размеру: малые, средние, крупные и очень крупные (табл. 5).

Таблица 5

Классификация дефляционных котловин по размеру, в зависимости от объема

Тип котловины	Краткое описание типа
1. Малая	Объем котловины ≤ 100 м <sup>3</sup>
2. Средняя	100 м <sup>3</sup> $\leq$ Объем котловины $\leq$ 1000 м <sup>3</sup>
3. Крупная	1000 м <sup>3</sup> ≤ Объем котловины < 10000 м <sup>3</sup>
4. Очень крупная	Объем котловины > 10000 м <sup>3</sup>

#### Основные результаты исследований

В ходе проведенного анализа 333 котловин, выявленных в результате полевых обследований морской авандюны российской части Куршской косы и распределения котловин по их типам в соответствии с разработанной классификацией, получены следующей результаты.

1. Котловины выдувания чаще всего располагаются на поверхности вершины авандюны (34,9 %) и как правило затрагивают вершину и фронтальный склон авандюны, образуя полусквозные формы (32,3 %). Количество дефляционных котловин, находящихся исключительно в пределах фронтального склона авандюны, составляет всего 15,8 % от общего числа котловин. Меньше всего встречается сквозных, полусквозных тыльных и тыльных, что говорит о преобладании над поверхностью авандюны Куршской косы ветров, дующих с моря (ветров западных румбов) или вдоль косы (северных или южных румбов) (рис. 2).



Рис. 2. *а* — диаграмма распределения дефляционных котловин по расположению на авандюне, %; *б* — фотография поверхностной дефляционной котловины

2. По расположению дефляционных котловин относительно к береговой линии моря на Куршской косе чаще всего встречаются диагональные котловины (44,4 %). Почти одинаково часто встречаются продольные (21,3 %) и поперечные (22,5 %) котловины и реже всего (11,7 %) округлые котловины (рис. 3).

Такое распределение котловин на поверхности авандюны говорит о разнонаправленном и почти равномерном воздействии ветров, дующих как со стороны моря, так и вдоль берега Куршской косы, в зависимости от сезона года. Незначительное преобладание поперечных котловин над продольными (всего 1,2%) может иметь исключительно антропогенный характер, связанный с выходом отдыхающих к морю через авандюну в местах, не оборудованных специальными спусками.

3. На авандюне российской части Куршской косы почти половина всех дефляционных котловин имеет овальную форму (46,4 %). Остальная половина котловин состоит из разных форм, среди которых преобладают спрямленные (18,6 %). Округлых котловин встречается всего 11,7 %, а изогнутых — 10,8 % (рис. 4). Появление изогнутых котловины обычно связано с наличием на поверхности авандюны закрепленных густой кустарниковой растительностью участков, которые менее подвержены выдуванию, чем



Рис. 3. *а* — диаграмма распределения дефляционных котловин по расположению относительно береговой линии, %; *δ* — фотография диагональной котловины



Рис. 4. *а* — диаграмма распределения дефляционных котловин по форме в плане, %; *б* — фотография овальной котловины

незакрепленные. Таким образом, при развитии котловины ветер, двигаясь в котловине по наименьшему сопротивлению, огибает препятствия, формируя изогнутые формы (крючки, полумесяцы и др.).

Сравнительный анализ горловинных дефляционных котловин показал, что сужающихся котловин (8,7 %) в два раза больше, чем расширяющихся (3,9 %). В связи с тем, что горловинные котловины встречаются в основном на фронтальном склоне авандюны и на ее вершине, преобладание сужающихся котловин над расширяющимися скорее всего также связано с антропогенным влиянием. Туристы, выходя по узким тропам к вершине авандюны, спускаются к морю и возвращаются по фронтальному склону, провоцируя его осыпание и образуя в основании авандюны широкий проход, а в верхней части — узкий.

Преобладание котловин с плавными овальными формами на поверхности авандюны связано с естественными физическими процессами дефляции на песчаных поверхностях суши.

4. Традиционное деление котловин выдувания по форме поперечного профиля на V-образные и корытообразные для авандюны Куршской косы показало преобладание корытообразных котловин (70,3 %) над V-образными (29,7 %) (рис. 5). Однако, как показывают многолетние наблюдения за котловинами, увеличение размеров V-образных котловин приводит к их переформированию в корытообразные, так как высота авандюны обычно ограничивается 10-15 м, а ширина и протяженность авандюны много больше, со временем высота котловины становится меньше ширины ее основания и приобретает пологую форму корыта.



Рис. 5. *а* — диаграмма распределения дефляционных котловин по форме поперечного профиля, *%*; *б* — фотография корытообразной котловины

5. Измерив параметры всех 333 котловин выдувания и определив их внутренний объем, наиболее приемлемым оказалось распределение размерности (крупности) котловин по универсальной условной системе в зависимости от объема котловины с шагом, кратным 10.

Так как очень малых котловин объемом менее 10 м<sup>3</sup> зафиксировано не было, ввиду относительного крупного размера самой авандюны. Размеры всех малых дефляционных котловин не превышали 100 м<sup>3</sup>, таких котловин встретилось 40,5 %. Почти половина (48,3 %) котловин имеют средний размер от 100 до 1000 м<sup>3</sup>. Крупные котловины объемом от 1000 до 10000 м<sup>3</sup> составили всего 10,2 % от всех дефляционных котловин на морской авандюне Куршской косы. А вот очень крупных котловин, превышающих объем 10000 м<sup>3</sup>, встретилось всего 0,9 % от общего числа дефляционных котловин (рис. 6).



Рис. 6. *а* — диаграмма распределения дефляционных котловин по размеру, %; *б* — фотография очень крупной котловины

6. При проведении сравнительного анализа спутниковых снимков береговой полосы Куршской косы разных лет с данными современных полевых наблюдений было установлено увеличение общего количества котловин в течение последних 10 лет. За период с 2007 по 2016 г. количество котловин увеличилось в 1,5 раза — с 213 до 333 шт: в 2007 г. котловин было 213 шт, в 2014 г. — 252, в 2016 г. — 333.

При этом во время полевых обследовании 2016 г. было зафиксировано три десятка дефляционных котловин, которые были закреплены деревянными щитами и завалены хворостом из хвойных и лиственных пород деревьев. Развитие данных котловин останавливается, и начинается довольно быстрая аккумуляция песчаного материала в котловине, что приводит к восстановлению поверхности авандюны. Полностью заделанные котловины выдувания в исследовательской работе не учитывались, так как в них уже не происходит процесс дефляции.

Но даже несмотря на заметную работу Национального парка «Куршская коса» по заделке котловин выдувания и восстановлению целостности авандюны, дефляционные процессы за последний десятилетний период времени привели к резкому увеличению количества котловин, особенно за последние 2 года. Так, с 2014 по 2016 г. на авандюне появилась 81 новая котловина, когда как за период с 2007 по 2014 г. появилось всего 39 новых котловин. Данный факт объясняется резким увеличением туристического потока на Куршской косе, который с 2007 по 2014 г. вырос более чем в 2 раза: так, в 2007 г. средний пик посещаемости из расчета человек в день в Национальном парке составлял около 4000 человек, а в 2014 г. — уже около 10400 человек [8]. Общее количество посетителей Куршской косы в 2015 г. достигло почти 339000 чел. [12].

Надо отметить тот факт, что в результате дефляционных процессов происходит не только увеличение количества котловин, но и их размер. Также при обследовании были выявлены случаи, когда несколько близко расположенных друг к другу средних котловин в результате увеличения своих размеров вследствии дефляции соединялись в одну крупную или очень крупную котловину. Описанный процесс значительно ускоряет дефляционное разрушение тела авандюны.

#### Выводы

Главным выводом проведенного исследования дефляционных котловин на авандюне Куршской косы можно считать факт интенсификации дефляционных процессов, который выражается в резком увеличении количества дефляционных котловин на поверхности авандюны российской части Куршской косы. Скорее всего это увеличение количества котловин связано с резко возросшей антропогенной нагрузкой, вызванной увеличением количества туристов и отдыхающих на Куршской косе.

В ходе исследований на поверхности авандюны российской части Куршской косы в 2016 г. было зафиксировано, описано и измерено 333 котловины выдувания, различных типов форм и размеров (рис. 7). По результатам исследований была составлена карта-схема современного расположения котловин выдувания на морской авандюне. Был выполнен анализ котловин выдувания авандюны Куршской косы с помощью спутниковых снимков за период с 2007 по 2014 г., который и показал факт увеличения количества дефляционных котловин с 213 до 333 штук.



Рис. 7. Схема расположения дефляционных котловин на морской авандюне Куршской косы

Разработанная классификация дефляционных котловин по типам, формам и размерам позволяет без труда сделать оценку состояния поверхности авандюны и дать достаточно подробное описание каждой котловины. С помощью разработанной классификации название любой дефляционной котловины будет состоять из пяти определяющих ее признаков (характеристик). Так, например, согласно проведенному анализу дефляционных котловин по типам, в соответствии с разработанной классификацией наиболее часто встречающиеся котловина на Куршской косе будет иметь следующее сочетание характеристик, которое может быть выражено в названии: «Поверхностная, диагональная, овальная, корытообразная, среднего размера». Такое название дает достаточно полное представление о качественных характеристиках котловины.

Так как классификация дефляционных котловин достаточно универсальная для всех типов береговых дюн (авандюн), с ее помощью можно создать информационную базу данных котловин выдувания для любых аккумулятивных береговых форм (кос, пересыпей, баров, стрел и др.), сложенных из песчаных рыхлых материалов и имеющих в тыльной части пляжа авандюну, где и будут протекать дефляционные процессы с образование котловин выдувания.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-35-00480 мол\_а.

#### Литература

- Бадюкова Е.Н., Жиндарев Л.А., Лукьянова С.А., Соловьева Г.Д. Геоморфология Куршской косы // Прибрежная зона моря: морфолитодинамика и геоэкология: Мат. конф. / отв. ред. проф. В.В. Орленок. — Калининград: Изд-во КГУ, 2004. — С. 65–70.
- Болдырев В.Л., Бобыкина В.П., Бурнашов Е.М. Результаты и дальнейшие перспективы мониторинга берегов Куршской косы // Пробл. изуч. и охраны прир-го и культ-го наследия Нац. парка «Куршская коса», 2007. Вып. 5. — С. 76–93.
- 3. *Болдырев В.Л., Тепляков Г.Н.* Формирование, состояние и проблемы сохранения ландшафтов Куршской косы // Пробл. изуч. и охраны прир-го и культ-го наследия. М., 2003. С. 20–40.
- 4. *Бурнашов Е.М.* Современная динамика и геоэкологическое состояние морского берега Калининградской области: Дис. ... канд. геогр. наук. — Барнаул: ИВЭП СО РАН, 2011. — 205 с.
- Волкова И.И., Рябкова О.И. Влияние природных и антропогенных факторов на дюнные ландшафты побережья Юго-Восточной Балтики // Человечество и береговая зона Мирового океана в XXI веке / под ред. Н.А. Айбулатова. — М., 2001. — С. 429–438.
- 6. Выхованец Г.В. Эоловый процесс на морском берегу. Одесса: Астропринт, 2003. 368 с.
- 7. Ковалева О.А., Рябчук Д.В., Сергеев А.Ю., Жамойда В.А., Нестерова Е.Н. Абразионные процессы южной береговой зоны Финского залива: причины, динамика, прогноз развития // Учен. зап. РГГМУ. 2014. Вып. № 35. С. 87–101.
- Шидловская Ю.А., Жуковская И.П. Оценка геоэкологического состояния природных комплексов в районе объектов туризма и рекреации национального парка «Куршская коса» // Пробл. изуч. и охраны прир-го и культ-го наследия Нац. парка «Куршская коса». 2015. Вып. 11. — С. 144–156.
- 9. *Abhara K.C., Walkera I.J., Hesp P.A., Garesc P.A.* Spatial-temporal evolution of aeolian blowout dunes at Cape Cod // Geomorphology. 2015. Vol. 236. P. 148162.
- Hesp P.A. Foredunes and blowouts: initiation, geomorphology and dynamics // Geomorphology. 2002. Vol. 48. – P. 245–268.
- González-Villanueva R., Costas S., Duarte H., Pérez-Arlucea M., Alejo I. Blowout evolution in a coastal dune: using GPR, aerial imagery and core records // Journal of Coastal Research. 2011. Vol. SI 64. – P. 278–282.
- 12. http://www.park-kosa.ru/cn\_novosti/publikatsii/?ELEMENT\_ID=166107 (дата обращения: 03.09.2016).