

# ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ НАУКИ

## ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗВИТИЯ ВДОЛЬБЕРЕГОВОГО ПОТОКА НАНОСОВ В БЕРЕГОВОЙ ЗОНЕ ЧЕРНОГО МОРЯ

*Шуйский Юрий Дмитриевич,  
доктор географических наук, профессор,  
заведующий кафедрой,*

*Орган Людмила Владимировна  
преподаватель,*

*Кафедра физической географии и природопользования,  
Одесский национальный университет имени И.И.Мечникова,  
ул. Дворянская, 2, Одесса-82, 65082, Украина*

### BASICAL EVOLUTION PECULIARITIES OF ALONGSHORE SEDIMENT DRIFTING WITHIN COASTAL ZONE OF THE BLACK SEA

*Yuriy Shuisky*

*Professor, DrSci Degree,*

*Ludmila Organ*

*Señora Teacher,*

*Physical Geography & Resources Usage Dept.,  
National Mechnikovs University of Odessa,  
2, Dvoryanskaya St., Odessa-82, Ukraine*

#### **Аннотация**

Общетеоретические закономерности обычно обеспечивают решение экономико-практических задач. На примере береговой зоны Черного моря, выявлены и сформулированы основные закономерности формирования прибрежно-морских наносов вообще и развития вдольбереговых потоков наносов, в основном песчаных. Полученные материалы способствуют более совершенному природопользованию на морских берегах. Они способствуют оптимизации антропогенного возмущения береговой зоны под влиянием строительства и эксплуатации морских портов, берегозащитных сооружений, судоходных каналов, рекреационных сооружений, коммуникаций и проч. Представлен теоретический график движения наносов в морской воде.

**Ключевые слова:** Черное море, береговая зона, движение наносов, волновая энергия, изменчивость, рельеф, уклоны склона.

#### **Abstract**

By the way, almost always General teoretical peculiarities provide decision of economic-practical work quotas. The Black Sea coastal zone were as a examples, and the different nature peculiarities were obtained for forming a coastal sediment in general and alongshore sediment (mainly — sands) drifting in specifically. The receiving science materials are faourable to positve usage of natural resources within sea coasts. The next production questions we can to determine: a) planning and exploatation of a sea ports; b) building and work of a coastal protections; c) optimal planning of a navigative canals; d) rationally mining of coastal sediment and agregats for building; e) objects of recreation within shores; f) communications in shores (railways, roads, electrolines, pipelines etc.). Theoretical diagram present on hydraulic sizes in sea water colomn

**Key Words:** Black Sea, coastal zone, sediment movement, wave energy, changing, relief, slope inclination.

**Вводная часть.** Застройка и разнообразное освоение природных ресурсов в береговой зоне морей, в том числе и Черного, требуют регулярной оценки природной среды, с учетом развития теории науки и нового практического опыта. В данном случае особое место занимает береговая зона того или иного моря, как исключительно динамичная природная система. Сильнейшая изменчивость ведет к столь же быстрому проявлению как положительных, так и отрицательных последствий.

Накопившийся за последние 15-20 лет опыт природопользования в береговой зоне требует нового осмысливания ряда научных положений и практических подходов. Такая цель данной статьи

отражает одно из важнейших направлений развития береговых наук («coastal sciences»): практическая деятельность должна использоваться для корректировки их теоретических положений.

**Данные о методике исследования.** Специфика нашей работы состоит в том, что мы оперируем обширной научной информацией и опытом многих исследователей. Поэтому мы используем базу данных географических данных Одесского национального университета имени И.И. Мечникова, Рабочей группы «Морские берега», ряда научных конференций и конгрессов. В этой связи нами используются в основном теоретические методы исследований, такие, как систематиза-

ция, группирование, анализ, сравнительно-географический, аналогий, системный. Используются эмпирико-интуитивный и абстрактно-дедуктивный подходы. Понятия «береговая зона моря» и «вдольбереговой поток наносов» мы принимаем в классическом понимании В.П. Зенковича [2].

#### Материалы и их обсуждение.

Виды изменчивости потока наносов. Исключительно важной закономерностью развития вдольберегового потока наносов является изменения событий в процессе развития этих потоков. Мы различаем три основных состояния вдольберегового потока наносов, как и остальных природных процессов в береговой зоне моря: а) период; б) цикл; в) ритм. Специально данная тема в береговедении и физической географии была поднята в начале 70-х годов XX века [7]. Данные виды изменчивости природы природе вообще [6].

а) Понятие «период» (с греч. *περίοδος* — обход, круговращение) означает, что тот или иной процесс меняется в течение того или иного периода, претерпевает определенный тренд. Бывает, что явление повторяется периодически в течение того или иного промежутка времени, идентичные состояния потока наносов (мощность, емкость, направление и др.) отделяются равным интервалом времени. Под периодическим процессом развития потока наносов понимается такое развитие, при котором повторное такое же событие отделяется от предыдущего или последующего более или менее одинаковым отрезком времени.

б) Понятие «цикл» (с греч. *κύκλος* — круг) включает с себя законченный путь развития вдольбереговых потоков наносов. При этом состоянии потока через некоторое время возвращается в последующее идентичное, которое имело место в прошлом через любой интервал времени, и интервал должен быть в общем одинаковым. Этим интервалом может быть штормовой, межштормовой, годичный, многолетний и т.д. [7]. Скажем, в течение года при переходе от штилевого лета к штормовой осени и зиме обычно растет мощность вдольберегового потока, достигает максимума при переходе от зимы к весне, а затем опять достигает идентичного состояния к концу лета.

Понятие «ритм» (с греч. *ρυθμός* — соразмерность, стройность) обозначает закономерное чередование соизмеримых факторов и элементов в береговой зоне, которые определяют состояние вдольберегового потока наносов. При этом ритмичным прибрежно-морским процессам присуще закономерное повторение определенных качественных состояний отдельных элементов, причем, интервалы повторений могут быть и не одинаковыми, в отличие от периодичности.

Рассмотренная закономерность часто является исходной, а ее составляющие части подсказывают варианты природопользования. Например, такие работы, как создание искусственного пляжа в береговой зоне моря рационально производить не перед штормовым, а перед штилевым внутригодовым

ритмом и на участках транзита или зарождения вдольберегового потока. Рационально выполнять дночерпание судоходного канала перед штилевым многолетним периодом. Поскольку ветровая циркуляция меняется в течение многолетнего периода, то важно установить сценарии воздействия усиления и ослабления ветро-волнового влияния на вдольбереговые потоки наносов. Изменение ветровой циркуляции характеризуется периодичностью и приводит к периодичному усилению или ослаблению волнового влияния, особенно на снос осадочного материала.

В географии вообще одним из важнейших результатов считается разработка рационального прогноза поведения природных систем. Изменение событий в береговой зоне значительно облегчает разработку прогноза того или иного типа.

Определение отсортированности наносов в потоке. Исследование отсортированности. Она отражает степень рахнообразия или однородности прибрежно-морских наносов в составе вдольберегового потока включает также и характеристики частиц наносов. Мерой отсортированности обычно служат квантильные и моментные оценки гранулометрических распределений. В настоящее время в качестве меры предлагается использовать величину энтропии. По С.И. Романовскому и А.Н. Деркачеву, энтропия гранулометрических распределений наносов  $H$  во вдольбереговых потоках составляет:

$$H = \frac{-\sum_{i=1}^n P_i \lg P_i}{\lg n}$$

где  $n$  — число фракций при анализе;  $P_i$  — частность, содержание частиц наносов в данной фракции. Так можно просчитать значения энтропии для каждой фракции или для группы фракций (например, алевроитовой, песчаной или гравийной). Далее, согласно Ю.В. Кочемасову [3], рассчитываются и представляются в виде распределений с равными интервалами группирования. При этом использовались кумулятивные кривые распределения построенные на полулогарифмической палетке. После построения кривой распределения на ней определяются точки, соотношенные с логарифмами размеров частиц, обозначенных через равный интервал на логарифмической шкале (рис. 1). После этого точки с кривой проектировались на другую шкалу, где снимались приращения  $P_i$  — содержания соответствующих гранулометрических фракций. Расчет Ю.В. Кочемасова показал важную закономерность, что энтропии исходного и рассчитанного гранулометрических распределений наносов во вдольбереговом потоке различаются несущественно. На это указывают и методы расчетов с помощью палетки и треугольных диаграмм. Исследования потоков с разным фракционным составом наносов показал, что размер отдельной фракции не влияет на величину энтропии. Так, гравийные наносы береговой зоны имеют

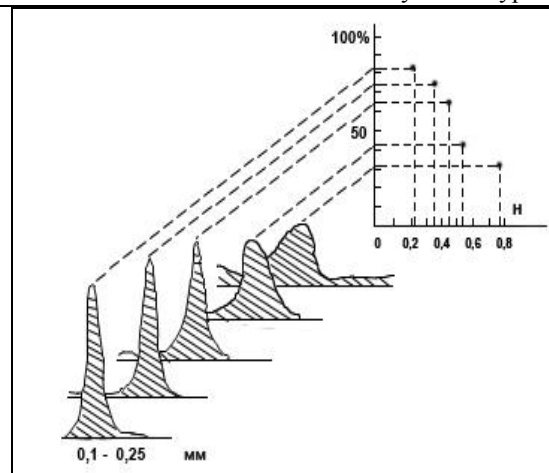


Рис. 1. График зависимости значений энтропии ( $H$ ) от содержания модельной фракции на примере кри-вых грануло-метрических распределений мелко-песчаных наносов разной степе- ни отсортированности (согласно [3]).

такие же значения энтропии, как и мелкозернистые пески и алевриты. На всех диаграммах четко прослеживается еще одна закономерность: отмечается уменьшением значений энтропии сверху вниз, т.е. при переходе от гранулометрических распределений с высокими содержаниями модальной фракции (высокая однородность наносов) к распределениям с низкими содержаниями этой же фракции (низкая однородность). Эту закономерность иллюстрирует рис. 1.

Отсортированность характеризует прибрежно-морское преобразование осадочного материала континентального, аллювиального, дельтового, ледникового, эолового и другого происхождения, который залегают вне береговой зоны моря. Осадочная масса при этом с помощью отсортированности превращается в наносы волнового поля только в береговой зоне и больше нигде во всей географической оболочке Земли. Эта характеристика в литологии вообще обозначается безразмерным коэффициентом  $S_o$ . Этот коэффициент не может превысить 1, а с его ростом отсортированность становится все хуже и хуже [2]. По значению коэффициента  $S_o$  вы-

деляют прибрежно-морские наносы высшей отсортированности, хорошо отсортированные, средне отсортированные, умеренно отсортированные, плохо отсортированные, очень плохо отсортированные. Причем, последняя градация характеризуется максимальными значениями коэффициента. В разных практических наставлениях численные значения  $S_o$  бывают разными.

Таким образом, по всей трассе вдольберегового потока и на разных глубинах, с разными уклонами и формой поперечного профиля наносы ведут себя по-разному. Это происходит потому, что они пребывают в морской воде, которая движется различно и образует неоднородное волновое поле. С другой стороны, в однородном волновом поле, где движение воды упорядочено, наносы с разными свойствами ведут себя иначе. При этом наносы могут быть крупными и мелкими, окатанными и неокатанными, правильной и неправильной формы, с высокой и низкой плотностью. Все перечисленные свойства обычно относятся к гидравлическим, они определяют поведение частиц наносов в видной толще береговой зоны моря [3, 5].

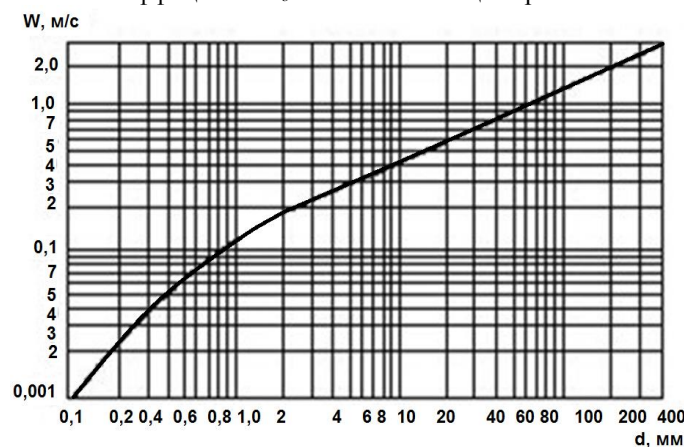


Рис. 2. График для определения гидравлической крупности несвязных рыхлых наносов в морской воде ( $S_{col} = 35\%$ ). Обозначения:  $W_c$  — скорость оседания частиц, гидравлическая крупность;  $d$  — средний диаметр отдельной частицы наносов, мм.

В общем виде процесс поведения частиц наносов в морской воде описывает рис. 2, согласно закону Стокса. В данном случае ведущим свойством обычно выбирается крупность наносов, которая обозначается через  $d$ , мм. В данном случае увеличение скорости оседания частиц в столбе морской воды  $W_c$  (м/с) присуще все более крупным частицам, если у них одинаковые значения окатанности, формы и плотности. Они различны на разных участках трассы движения материала во вдольбереговом потоке в береговой зоне.

Во вдольбереговой структуре потока наносов различаются отдельные участки. По мере поступления осадочного материала в волновое поле он сохраняет минимальную отсортированность, с максимальными значениями  $S_0$ . Это значение обозначает чаще всего начало вдольберегового потока. Как правило, на этом участке поток начинается. Доминируют наносы очень плохо и плохо отсортированные. Дальнейшее их движение в однонаправленном волновом энергетическом поле обуславливает действие растворения, раскалывания, истирания, дробления. Происходит общее уменьшение размеров частиц, удаление взвешенных частиц мелкозема, превращение многовершинной кривой распределения в одновершинную. По мере вступления наносов на участок транзита наносов, они становятся в первую очередь умеренно и средне принимать форму, близкую сферической, а потому ближе всего приближаются к правильной форме. Причем, такие изменения относятся прежде всего к легким частицам, с пониженной плотностью  $1,8-3,2 \text{ г/см}^3$ . На конечном участке вдольберегового потока, где по разным причинам снижается напряженность волнового поля и существенно уменьшается наносодвижущая способность волнового потока, вначале уравниваются процессы размыва и аккумуляции. На таких относительно равновесных отрезках доминирующее положение занимают вначале средне и хорошо отсортированные частицы. На участке окончательной разгрузки потока преобладает отсортированность хорошая, очень хорошая и высшая. В отличие от первичного материала, отлагаются в целом мелкие частицы волнового поля, правильной формы, хорошо окатанные (4-5 баллов, по Апродову), пониженной плотности. Здесь практически всегда образуются типично волновые аккумулятивные формы (косы, террасы). Таким образом наносы закономерно распределяются во вдольбереговом потоке.

Дифференциация исходного осадочного материала. Отсортированность начинается сразу же после того, как исходный осадочный материал оказывается в морской воде, в движении, в энергетическом волновом поле. Она является одним из важнейших составляющих процессов первичной механической сепарации и, затем, механической дифференциации в фациальных условиях береговой зоны [8]. Движущаяся водная среда способствует растворению химических элементов в составе исходного материала, вначале — подвергаемых максимальной интенсивности растворения

(гипс, доломит, разные вещественные типы известняка и проч.), превращению агрегатов в элементарные частицы. Одновременно развивается распределение частиц минералов и горных пород по гидравлической крупности вдоль берега с разной расчлененностью. Движущиеся на разных участках (зарождения, транзита и разгрузки) наносы ускоряют свое перемещение в местах с крутым подводным склоном и замедляют движение в местах с пологим подводным склоном.

В береговой зоне данный процесс действует непрерывно и повсеместно настолько, насколько меняются величины уклонов подводного склона, волновой режим (в том числе и экспозиция береговой линии по отношению к вектору волно-энергетического потока), состав исходного осадочного материала и др. Вдольбереговое движение в концентрированном энергетическом поле не является жестко детерминированным процессом, поскольку множество действующих факторов и их относительная случайность определяют преимущественно стохастический характер перемещения наносов [5]. Соответственно, изменчивы во времени и пространстве количественные характеристики вдольберегового перемещения. В упрощенной форме этот процесс можно представить в виде потока частиц различной крупности, которые движутся относительно равномерно вдоль выровненных участков. Однако, в общем наиболее крупные приурочены к глубинам с максимальными удельными расходами волновой энергии. По мере увеличения и уменьшения глубин, удельные потери энергии на поперечном профиле уменьшаются, а потому доминирующая крупность в целом снижается. Соответствующая крупность расхода энергии может быть один, два, три и даже больше, к которым приурочены основные трассы вдольберегового движения наносов в волновом поле [2, 4]. Важным, хотя и не ведущим, является пляжевое перемещение наносов, в зоне окончательного обрушения волнового потока.

Если же участок берега не является выровненным, а извилист, характеризуется чередованием выступов и вогнутостей берега, то волновое поле перестраивается [4]. Соответственно равномерное движение наносов ускоряется у выступов и замедляется у вогнутостей. В волновой тени, как правило, такое движение замирает в результате резкого падения или исчезновения наносодвижущей способности вдольберегового потока энергии. На участках появления активных клифов ширина пляжа резко снижается, а определенное количество наносов смещается на подводный склон. Там наносы движутся вдоль изобат в условиях малых уклонов и преимущественно вкост простирания изобат в условиях больших уклонов.

Для понимания структуры вдольберегового потока наносов весьма важным оказалось изменение силы действующих морских волнений — энергии  $E$ . Вслед за другими исследователями, И.О. Леонтьев [4] и В.М. Пешков [5] подчеркивают, что наибольшее количество наносов и с наибольшими скоростями движется во вдольбереговом потоке тогда, когда величина  $E$  близка значениям  $42^\circ-48^\circ$ .

Средняя величина экспозиции  $45^\circ$  получила название  $\angle\phi$  (угол «фи»). При уменьшении  $\angle\phi$  интенсивность движения наносов в ветро-волновом потоке снижается, но при этом растет вдольбереговая составляющая — вдоль пляжа и изобат подводного склона. При увеличении  $\angle\phi$  интенсивность движения наносов также уменьшается, но одновременно растет вынос частиц с подводного склона к берегу. Дифференциация наносов развивается глубже и полнее в условиях чередования вдольберегового и поперечного перемещения во вдольбереговом потоке.

**Заключение.** Приведенные в этой статье закономерности, присущие вдольбереговым потокам наносов, в идеале многочисленнее и разнообразнее [1]. Описанные выше представляют собой основу, главные положения, общий вид. На основании нашего опыта, накопленного за последние 20 лет, стало ясно: опираясь на них, возможно рассмотрение и анализ любого вдольберегового потока наносов в береговой зоне моря. Наилучшие, наиболее достоверные результаты дает применение различных методов исследования потоков наносов [9]. При этом в едином комплексе и во взаимодействии поток исследуется методами гидрометеорологическими, геоморфологическими, балансовыми, минералого-петрографическими, аэрофотосъемки, картографическим и др.

**Выводы и рекомендации.** Вдольбереговые потоки наносов в береговой зоне морей и океанов являются едва ли наиболее сложными экзогенными процессами распределения осадочного материала на контакте между Мировым океаном, с одной стороны, а с другой — массива суши (материков и островов).

Движение осадочного материала происходит в волно-энергетическом поле, в направлении действия потоков энергии, с одновременным процессом дифференциации первичного осадка, преобразованием в условиях высочайшей концентрации волновой энергии. Основным видом энергии является механическая энергия морских волн и течений, с подчиненным участием других типов энергии.

Для более эффективного природопользования следует различать три главнейших типа развития

режима вдольбереговых потоков наносов. Во-первых, периодический, во-вторых — циклический и в-третьих — ритмический. Все они занимают определенное место в природной системе береговой зоны. Следует лишь определить и оценить их.

Наиболее важные сведения о вдольбереговых потоках наносов можно получить путем стационарных многолетних работ на участках разгрузки потоков.

#### Список литературы:

1. Болдырев В.Л., Невеский Е.Н. Западный Темрюкский поток песчаных наносов // Труды океанографической комиссии Академии наук СССР. — 1961. — Том VIII. — С. 45 — 60.
2. Зенкович В.П. Основы учения о развитии морских берегов. — Москва: Изд-во АН СССР, 1962. — 710 с.
3. Кочемасов Ю.В. Определение сортированности осадков при крупномасштабных фашиальных исследованиях на шельфе // Методы комплексного картирования экосистем шельфа: Отв. ред. Б.В. Поляков. — Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1980. — С. 66 — 71.
4. Леонтьев И.О. Прибрежная динамика: волны, течения, потоки наносов. — Москва: ГЕОС, 2001. — 272 с.
5. Пешков В.М. Галечные пляжи неприливных морей (основные проблемы теории и практики). — Краснодар: Эд Арт Принт, 2005. — 445 с.
6. Чижевский А.И. Земное эхо солнечных бурь: 2-е издание. — Москва: Мысль, 1976. — 275 с.
7. Шуйский Ю.Д. Фактор времени при анализе процессов развития береговой зоны // Инженерная геология и гидрогеология (София). — 1976. — Кн. 5. — С. 3 — 16.
8. Шуйский Ю.Д. Проблемы исследования баланса наносов в береговой зоне морей. — Ленинград: Гидрометеиздат, 1986. — 240 с.
9. Шуйский Ю.Д., Выхованец Г.В. Режим вдольбереговых потоков наносов в Северо-западной части Черного моря // Известия Всесоюзного Географического общества. — 1983. — Том 115. — Вып. 5. — С. 420 — 429.