

**Ю. Д. Шуйский**, доктор геогр. наук, проф.,

**Г. В. Выхованец**, доктор геогр. наук, проф.,

**Л. В. Орган**, аспирант

Кафедра физической географии и природопользования,

Одесский национальный университет имени И. И. Мечникова,

ул. Дворянская, 2, Одесса-82, 65082, Украина

## К ВОПРОСУ О РЕЖИМЕ ВДОЛЬБЕРЕГОВОГО ПЕРЕМЕЩЕНИЯ НАНОСОВ В БЕРЕГОВОЙ ЗОНЕ МОРЕЙ

Выполнен анализ библиографических источников по изучению береговой зоны моря. Рассмотрено понятие о вдольбереговом потоке наносов, выполнен анализ его режима. Выделено 5 основных характеристик потока наносов: емкость, степень насыщения, мощность, протяженность (участок зарождения, транзита, аккумуляции), состав осадочного материала. Представлена краткая характеристика методов изучения потока наносов.

**Ключевые слова:** море, береговая зона, вдольбереговой поток, движение, наносы.

### Введение

Вдольбереговое перемещение наносов, охватывающее всю ширину береговой зоны, является важнейшим литодинамическим процессом, определяющим строение и развитие большей части берегов морей и океанов. Они связывают абразионные и аккумулятивные процессы всех береговых зон. Такие потоки движутся вдоль береговой линии в зависимости от направления преобладающих ветров и от экспозиции берега по отношению к направлению действия ветра и ветровых волн. Потоки наносов способствуют выдвиганию берега и накоплению пляжей там, где нет или недостаточно местных источников материала. Они также смягчают очертания берегов, заполняя входящие углы, огибая различные выступы и создавая косы, формируя пересыпи и томболо в волновой “тени” островов, отмелей и других естественных препятствий. Увеличение территории морских берегов в результате аккумуляции или же, наоборот, потеря ценных земель за счет абразии играют существенную роль в хозяйственной деятельности человека. Поэтому *цель данной статьи* состоит в определении понятия вдольберегового потока наносов и его изучении, а также в рассмотрении анализа его режима и основных характеристик.

Для достижения данной цели мы будем решать такие *основные задачи*: а) краткая история формирования учения о вдольбереговых потоках наносов; б) условия возникновения и развития вдольбереговых потоков наносов; в) рассмотреть характеристики вдольбереговых потоков наносов и их значимость; г) оценить направление перемещения наносов во вдольбереговом потоке и обосновать применимость различных методов. Решение

совокупности представленных задач и будет составлять содержание данной статьи и *научную новизну* выводов работы. *Объектом исследований* является береговая зона неприливногo моря со значительными запасами наносов и непрерывным их поступлением в море из различных источников. В качестве *предмета исследований* выбран вдольбереговой поток наносов как фактор наносообмена, связывающий все прибрежно-морские формы рельефа в береговой зоне. Определения и понятийный аппарат требуют строгой интерпретации и однозначного толкования для их правильного выбора с целью обоснования оптимального природопользования в береговой зоне моря. В этой связи статья имеет и важное *практическое значение*.

### **Материалы и методы исследования**

При написании статьи были использованы материалы длительных экспедиционных (маршрутных и стационарных) исследований. Особое внимание было обращено на геоморфологические признаки направления и мощности вдольбереговых потоков. При использовании данных о ветровом и волновом режиме прибрежных вод применялись энергетические графические построения, указывающие на относительные значения направления и мощности вдольберегового потока наносов. Камеральная (лабораторная) обработка полевых материалов по стандартной методике [28], а также картографические работы дали возможность получить необходимые характеристики береговой зоны на участке, где развивается вдольбереговой поток наносов. В качестве дополнительной информации служили опубликованные материалы по изучению береговой зоны моря (см. список библиографии), как фактор преемственности в развитии данной темы работы по береговедению [29].

В качестве основных методов исследования были применены те, которые обычно рекомендуются в географии для исследования сложных природных систем [28]. Использовался метод систематизации имеющейся информации, ее ретроспективный анализ, полевой маршрутнoй и стационарнoй, картографический, гидрометеорологический, литологический, сравнительно-географический.

### **Основные результаты исследования**

Для общей характеристики перемещения материала по пляжу и подводному склону в литодинамике введено понятие о вдольбереговом потоке наносов.

*Об истории методики расчетов “вдольберегового потока наносов”.* Анализ литературы показал, что многие авторы описывают сам процесс передвижения наносов, но, однако, полного анализа совокупности методов не указывают [29]. Все авторы пишут о том, что вдольбереговое перемещение наносов осуществляется волнами и течениями, подходящими к берегу под каким-либо углом. Из всех представлений и разработок разных авторов [2,

4, 5, 8, 15, 16, 21, 22, 25, 26] можно выделить следующие процессы, которые приводят к формированию вдольбереговых потоков:

- разрушение ветровой волны, луч которой подходит под определенным углом к берегу (угол  $\varphi$ );
- массовое направление перемещения наносов вдоль берега под влиянием совокупности гидрогенных факторов в условиях крутых и пологих подводных склонов;
- частицы, систематически перемещающиеся вдоль берега в сторону проекции луча волны на береговую линию;
- отражает средний за год или многие годы результат вдольберегового перемещения осадков волнами и волновыми течениями.

Наиболее ранней работой по изучению вдольберегового перемещения гальки является статья В. А. Обручева [15].

В 1927–1938 гг. П. К. Божич [8, 9] проводит обширные натурные и лабораторно-экспериментальные исследования береговых наносов на берегу Черного моря. Именно П. К. Божича следует считать основоположником научного положения о потоках наносов в береговой зоне морей. Он впервые вскрыл это явление, внес и развил представление о галечных потоках наносов. П. К. Божич определил такие понятия как “поток передвижного берегового материала, движимого волнами при ничтожном участии течений”, “среднее годовое волнение”, “силовой поток данного участка берега”. П. К. Божич и Н. Н. Джунковский [10] в своей монографии рассматривают только береговое перемещение по склону надводного пляжа под действием прибойного потока и силы тяжести, а также предлагают схему перемещения. Представления П. К. Божича о роли наносов в развитии береговой зоны получили дальнейшее развитие в монографиях и статьях В. П. Зенковича, В. В. Лонгинова, Р. Я. Кнапса, В. Л. Болдырева, Д. Я. Бертмана, Н. Д. Шишова, И. А. Правоторова, А. М. Жданова и др. [21].

Датский гидролог И. Мунх-Петерсен [35] предложил определить наносодвижущую силу волнения в зависимости от силы, направления и повторяемости ветров на данном участке побережья. При этом он предложил применять в качестве множителя геометрическую длину разгона волны, взятую в корне квадратном. Несколько позже Р. Я. Кнапс [34], критикуя выкладки Т. Мунх-Петерсена, предложил использовать корень кубический из длины разгона, а данные расчеты применять для береговой зоны с песчаными наносами.

В это же время из печати выходит статья В. Г. Глушкова [11]. Он предложил эмпирические зависимости для оценки характеристик потоков наносов. Этот автор обратил особое внимание на то, что в береговой зоне наносы движутся силой волнового потока, а совокупность штормовых заплесков с сопровождающими токами воды образуют волновую подвижку в течение действия одного шторма. В отличие от большинства своих современников, В. Г. Глушков утверждал главную роль ветровых волн, а не неопределенных морских течений в формировании вдольберегового потока наносов.

Начала современных представлений о продольном перемещении наносов волнами и прибоем были разработаны В. П. Зенковичем [13, 14]. На то

время В. П. Зенкович дает наиболее полное описание процессов вдольберегового перемещения наносов и особенно — вытекающих из него морфологических последствий. Он выделяет донное и береговое перемещение наносов. По его мнению, причиной перемещения наносов вдоль берега является расхождение направлений скорости волнового потока и силы тяжести, действующих на частицу наноса. Именно “волновые течения” он рассматривает как мощный фактор донного перемещения наносов во взвешенном состоянии. В. П. Зенкович считает, что течения способны не только переносить взвешиваемые волной наносы, но и самостоятельно отрывать их от дна и переносить во взвеси. Он вывел три основные характеристики потока наносов, такие как емкость потока, степень его насыщенности и мощность, а движение наносов происходит под интегральным влиянием таких процессов как взвешивание, сальтация и влечение по дну [14]. В пределах длины береговой зоны, где формируется вдольбереговой один поток, этот автор выделяет участки зарождения, транзита и разгрузки потока.

Довольно полно рассмотрены миграция и вдольбереговой поток наносов и его характеристики, приведены некоторые методы изучения потоков и элементы режима потоков. Представленная схема продольного перемещения наносов используется многими авторами, и на сегодняшний день не было внесено сколько-нибудь существенных дополнений или изменений [10]. Эти схемы авторы рекомендуют для разработки, обоснования и проектирования различных берегозащитных, портовых, рекреационных и коммуникационных сооружений в береговой зоне моря.

Закономерности движения наносов и вдольбереговой поток наносов вызывают значительный интерес и в США в те годы. Весьма показательными можно считать работы американского исследователя Д. У. Джонсона [36]. Он анализирует пути развития аккумулятивных форм под влиянием вдольбереговых потоков наносов, и эти формы так же образовывались в геологическом прошлом. А сейчас они погребены под толщей более молодых пород и представляют собой вместилища нефти и газа, например, на дне северной части Мексиканского залива. Д. У. Джонсон учел опыт европейских ученых и принял во внимание их выводы, согласно которым ветер и волны тесно связаны между собой. К этому выводу еще раньше пришел Р. Я. Кнапс [34], и на этом основании, в процессе творческого спора с И. Мунх-Петерсеном, приступил к разработке специального метода расчета. Надо подчеркнуть, что 50-60-е годы XX столетия явились временем, когда исследователи приступили к прямой разработке методики расчета различных характеристик вдольберегового потока наносов.

В. В. Лонгинов [22] описывает закономерности вдольберегового перемещения наносов и динамики контура берега. Им предложен термин “нагрузка” вместо термина “мощность” у В. П. Зенковича. В. В. Лонгинов уделял большое внимание углу подхода волн к берегу  $\phi^\circ$ , рассматривая результаты исследования других авторов. И на основе своих теоретических решений приводит таблицу полученных значений для различных углов уклона. Для понимания процесса влияния глубин и уклонов подводного склона на режим потока он разрабатывает понятие относительной глубины

моря. Для перехода от единичного сечения потока к его пространственной характеристике В. В. Лонгинов вводит понятие поперечной и продольной структуры расхода и потока наносов. Им же введено понятие условного фактора наносодвижущей способности силового потока.

С. А. М. Кинг [16] в своей монографии рассматривает эксперименты, наблюдения и количественное определение вдольберегового перемещения наносов в природных условиях зарубежных авторов в разных регионах. При этом она опиралась на разработки советских ученых, и прежде всего В. П. Зенковича, В. В. Лонгинова, Б. Ф. Добрынина и других, а также английских, американских, французских исследователей. К. Кинг проанализировала методы описания гранулометрического состава материала, которые обычно применяются для сравнения наносного материала, собранного в различных местах или в разное время, а также методику отбора проб. Она описала наблюдения сортировки пляжевого материала по нормали к берегу, параллельно берегу, пляжевые фестоны, а также упомянула о мощности подвижного слоя песка при волнении. Позже Ю. Д. Шуйский [31, 33] разработал понятие о “слое волновой переработки” и предложил его в качестве третьего измерения вдольберегового потока наносов, выполнил классификацию типов “слоя”.

Перемещению песчаных наносов уделял внимание также Н. А. Айбулатов [2, 3]. В своей ранней монографии автор рассмотрел механизм переноса песка вдоль берега при умеренных, значительных и сильных волнениях и связанные с ним микро- и мезоформы рельефа; описаны результаты наблюдения за взвешенным песком вдольбереговыми течениями. Рассмотренные зависимости концентрации взвесей от некоторых факторов позволило Н. А. Айбулатову [2] разделить подводный склон на 5 зон. Он также описал результаты наблюдений за скоростями переноса песка вдоль берега и объемами переноса в зависимости от крупности наносов [3]. Во время натурных экспериментов с помощью меченых наносов-индикаторов этот автор установил основные трассы движения максимального количества наносов вдоль берега и на разных глубинах.

Изложенные здесь взгляды различных авторов на процессы движения наносов, в т. ч. и в форме вдольберегового потока наносов, привели к появлению различных методов расчета. Причем, было принято целесообразным различать методы расчетов движения гравийно-галечных наносов и песчаных наносов. Наиболее перспективной предпосылкой, прототипом послужили представления Мунх-Петерсена—Кнапса. На основе этих предпосылок в начале 50-х годов XX века был разработан ветроэнергетический метод Н. Д. Шишова [30] (для песчаных наносов) и волноэнергетический метод А. М. Жданова [12] для (гравийно-галечных наносов). Наиболее перспективными были признаны волноэнергетические методы после того, как была численно доказанной абсолютно достоверная зависимость энергии волн от энергии ветра.

К середине 60-х годов возник довольно большой ряд методов. Это заставило В. В. Лонгинова [23] выполнить их критический обзор. В итоге он был вынужден сделать вывод, что из всех “ветроэнергетических” ме-

тодов наиболее полон и строг метод советского инженера Р. Я. Кнапса [17] с дополнениями немецкого ученого К. Фольбрехта. Расчетная формула Р. Я. Кнапса дает завышенные значения вдольбереговой наносодвижущей силы  $T_{рез}$  и при значениях  $\varphi \approx 45^\circ$ . В. В. Лонгинов подчеркивает: “С энергетической точки зрения формула Кнапса достаточно правдоподобна, но, исходя из современных представлений о передаче энергии ветра волне, показатель степени при скорости ветра следовало бы повысить до 3,5. Что касается волноэнергетических методов, то для определения энергетической равнодействующей надежнее всего пользоваться схемой расчета, предложенной Б. А. Поповым...” (с. 74). Одновременно В. В. Лонгинов [22, 23] нашел, что метод И. А. Правоторова способен на крайне ограниченное применение и дает результаты небольшой достоверности.

Одновременно публикуется статья В. В. Лонгинова [24], излагающая разработанный новый ветроэнергетический метод оценки вдольбереговых перемещений наносов в береговой зоне моря. Автор предлагает расчет волновой или ветровой энергии по румбам, а затем по предложенным номограммам рассчитывается полнота потоков от каждого полурумба в намеченных точках морского берега. Это позволяет определить положительную и отрицательную вдольбереговые составляющие равнодействующей секундного потока энергии для данного пункта берега за расчетный отрезок времени: они выражаются в килоджоулях в секунду, или в киловаттах на погонный метр протяжения берега. Другие методы не столь эффективны, а часто пользование ими фактически невозможно.

Более простой вариант методики расчета перемещения наносов во вдольбереговом потоке предложил Д. Я. Бертман [6]. Он делит весь сектор морского горизонта на две части перпендикуляром, восстановленным на прямом отрезке береговой линии. Для левой и правой частей относительно перпендикуляра рассчитывается ветроволновая энергия либо в физических, либо в условных единицах для отдельного года или среднего года из большого множества лет. Алгебраическая сумма величин энергии дает значимое, которое указывает результирующий вектор ( $T_{рез}$ ) движения наносов либо в одну ( $+T$ ), либо в другую сторону ( $-T$ ) от перпендикуляра вдоль берега. Если полученные величины энергии одинаковы и алгебраическая сумма равна нулю, то очевидно, что сумма средних годовых волновых подвижек наносов равна средней сумме противоположных подвижек,  $T_{рез} = 0$ , а на изученном участке береговой зоны развивается режим поперечных миграций наносов. В данном случае, очевидно, речь идет о вдольбереговом потоке ветроволновой энергии. Впоследствии этот метод был усовершенствован соавторами Д. Я. Бертмана В. Б. Дроздовым и Ю. Д. Шуйским и получил название “метод БДШ”. Его применимость и достоверность расчетов были доказаны на примере береговой зоны Черного моря в районе пересыпи Сухого лимана [7].

Если известно количество наносов, которое перемещается единицей ветроволновой энергии на данном участке береговой зоны в одну и другую сторону, то рассмотренный метод Д. Я. Бертмана [6] можно применять для расчетов мощности (“нагрузки”) в абсолютном количестве. Один из вари-

антов такого преобразования был предложен Ю. Д. Шуйским [37]. Часть исследователей решила, что явление потока и порождающие его факторы изучены настолько широко, всесторонне и глубоко, что настало время регулирования потока и управления им [27]. Для этого авторы цитированной книги опираются на исследование взаимодействия вдольберегового потока с береговыми объектами, наносорегулирующей и наносозадерживающей способности бун, прорезей, волноломов, на исследование явления пропуска наносов через (сквозь) искусственные препятствия, их волногасящей способности. Такие исследования непосредственно касаются режима вдольбереговых потоков наносов, часто служат для оценок ряда характеристик потоков, отражают эффективность берегозащитных сооружений в соответствии с окружающими физико-географическими условиями.

О. К. Леонтьев, Л. Г. Никифоров и Г. А. Сафьянов [21], как и ранее П. К. Божич, изложили свое представление о вдольбереговом перемещении наносов на пляже и в виде вдольберегового донного перемещения. Используются схемы В. П. Зенковича, наблюдения А. Т. Владимирова, В. В. Лонгинова, Н. А. Айбулатова, Д. Я. Бергмана, Н. Д. Шишова. Приведены примеры конкретных замеров скорости перемещения гальки на пляже вдоль берега и движение песчаных частиц. Рассмотрены подвижные микроформы рельефа, даны основные характеристики потока наносов и расход наносов. Уделено внимание поперечной и продольной структуре потока [21].

Н. А. Аркадьев и Л. Н. Куляшин [4], В. З. Аверин и др. [1] описывают процесс возникновения вдольберегового потока наносов. Они повторяют уже известное, что оптимальная величина вдольберегового переноса для береговой зоны достигается при угле подхода волны к линии берега близком  $45^\circ$ , точнее:  $\varphi \approx 37-42^\circ$ , на что указывают ранее, например, Р. Я. Кнапс и В. В. Лонгинов. Рассмотрено движение частиц разной крупности, движение осадка на подводном склоне, влияние волновых вдольбереговых течений на перемещение наносов. Представлена и описана схема изменения очертаний аккумулятивного берега под воздействием длительного волнения одного направления. Указаны параметры вдольберегового потока наносов.

Исходя из изложенного, становится понятным, почему ряд авторов обращается прежде всего к методу Р. Я. Кнапса [17, 23] как наиболее соответствующему условиям береговой зоны с песчаными наносами на Черном море. В результате многолетних исследований вдольбереговых потоков наносов на Черном море были определены трассы потоков, участки их зарождения, транзита и разгрузки, величины мощности и емкости [32, 33]. При этом были применены методы: гидрометеорологический, литологический, петрографо-минералогических индикаторов, геоморфологический, динамики рельефа возле естественных и искусственных препятствий.

Практически все авторы различных методов исследования вдольбереговых потоков наносов указывают на окружающие физико-географические условия. Они стараются учесть ветровой режим, волновой режим, режим волновых течений в береговой зоне морей, контуры береговой линии, ук-

лоны подводного склона, насыщение наносами береговой зоны, состав наносов и др., как это делает Р. Я. Кнапс.

*Условия развития вдольбереговых потоков наносов.* Анализ имеющейся информации о природе береговой зоны, определений и понятий о потоках наносов позволил нам сформулировать следующее определение. *Вдольбереговой поток наносов* — это алгебраическая сумма двухсторонних миграций наносов за многолетний период, перемещаемых вдоль береговой линии по пляжу и подводному склону под действием волн и волновых течений за единицу времени (год). Движение наносов во вдольбереговых миграциях является прерывистым, разнонаправленным, а “поток” складывается из множества подвижек, соответствующих отдельным волнениям, которые разделены периодами тихой погоды в течение различных сезонов года. Энергетическое состояние береговой зоны как главный фактор направления движения наносов во вдольбереговом потоке определяет О. Я. Кнапс [19].

На берегах узких бухт подвижки бывают однонаправленными. На открытых выровненных берегах они могут иметь и прямое, и противоположное направления. В зависимости от уклонов коренного ложа и наличия наносов той или иной крупности, наносной материал потока может занимать или всю ширину подводного берегового склона и пляжа, или только часть их. На многих берегах наблюдается преобладающее и непрерывное результирующее вдольбереговое перемещение наносов в какую-либо одну сторону. Для этого необходимы три условия:

а) годовая равнодействующая волнового режима должна быть ориентирована под острым углом к данному протяжению берега;

б) в береговой зоне должен быть достаточно большой запас наносов или их постоянное поступление вдоль берега, при продольном перемещении из источников питания;

в) перед берегом должен располагаться достаточно отлогий подводный склон, а контур береговой линии должен быть относительно ровным, без бухт и вогнутостей.

В случае, когда волновая энергетическая равнодействующая ориентирована по нормали к берегу, при действии волнения переменного направления происходят отдельные штормовые подвижки (миграции) вдоль берега. Алгебраическая сумма этих подвижек в одну и другую сторону за большой промежуток времени равна нулю. Это значит, что на таких участках вдольбереговой поток наносов трансформируется в “режим поперечных миграций наносов”, а основными источниками наносов являются донные.

Потоки и миграции наносов существенно влияют на развитие береговой линии, а также имеют большое практическое значение (заносимость портов, активное берегоукрепление, прокладка трубопроводов и кабеля связи). Протяжение потоков наносов может достигать сотен и даже тысяч километров. Ширина потока наносов колеблется от шторма к шторму, а также под влиянием уклонов подводного склона: чем сильнее шторм и меньше уклоны, тем шире поток. Толщина слоя волновой переработки меняется не только от шторма к шторму, но и вдоль кривой поперечного



профиля, вдоль берега и в зависимости от сложности кривой профиля. Вся масса наносов во вдольбереговом потоке приходит в движение только во время самых сильных штормов, а при этом представляет собой отдельную штормовую подвижку. При слабых волнениях ширина потока (отдельной подвижки) наносов уменьшается, но это явление временное: увеличение размеров штормовых волн ведет к росту ширины потока, уменьшение размеров — к снижению. В общем, каждая штормовая подвижка наносов индивидуальна.

Р. Я. Кнапс [18, 19] предупреждает о недопустимости искажать физическую сущность вдольбереговых потоков наносов. Скажем, в расчетных формулах изменение кубовой степени скорости ветра лишает возможности учесть энергетическую мощность потока. Если в расчетную формулу вводится еще какой-либо член, включающий скорость ветра, то полезно не объединять его с членом мощности. Или взять длину разгона. Если ее не принимать в расчет, то в формуле уже не будет представлена энергия водной среды, а остается лишь энергия движущейся массы воздуха. Считаем важным подчеркнуть, что длина разгона вводится в расчеты в степени 0,33.

В связи с индивидуальностью каждой подвижки и ее отличиями от других, мы предлагаем такое их деление:

I. Подвижки, в сумме составляющие все равно какую мощность (т. е. количества движущихся наносов) в течение года движутся только в одном направлении. В этом случае мощность обусловлена всеми запасами наносов в береговой зоне, поскольку алгебраическая сумма подвижек  $\Sigma$  оказывается вся в пользу одностороннего перемещения, т. е. 100% перемещаются в одном направлении.

II. Режим поперечных миграций — обусловлен либо доминирующей подачей наносов с подводного склона при несущественном вдольбереговом перемещении наносов, либо одинаковыми суммами подвижек наносов в одну и другую сторону вдоль берега ( $\Sigma_{\text{алг}} = 0$ ) в среднем за многолетний период. При этом не имеет значения мощность (“нагрузка”) потока.

III. С одной стороны  $A$  вдоль берега движется наносов больше, чем от противоположной  $B$ , равно как и возможна более высокая годовая сумма подвижек наносов со стороны  $B$  в сторону  $A$ . В обоих случаях четко выражается вдольбереговой поток наносов, когда сумма отдельных штормовых миграций  $\Sigma_A > \Sigma_B$  или  $\Sigma_B > \Sigma_A$ .

**Характеристики потоков наносов.** Поток наносов имеет основные характеристики, к которым относят ёмкость, мощность, степень насыщения, протяженность (длину), ширину, толщину слоя волновой переработки, состав наносного материала [15, 17, 18].

Ёмкость — максимальное количество наносов, которые волны и течения в составе отдельных подвижек потенциально способны перемещать вдоль данного участка берега в единицу времени (в среднем за год). Ёмкость отдельных подвижек зависит от энергии и направления действия волн, подходящих к берегу и соответственно к каждому данному горизонту подводного склона. Ёмкость максимальна, когда луч волны образует угол  $\varphi \approx 45^\circ$  с линией, касательной в данной точке берега и падает как при уменьше-

нии, так и при увеличении этого угла. Изучая среднюю ёмкость потока за длительный срок, мы должны иметь дело с величиной энергетической равнодействующей волнового режима  $E$  (в условных или абсолютных единицах энергии) и её направлением. Понятие ёмкости потока соответствует величине равнодействующей наносодвижущих сил.

Степень насыщения наносами: поток является насыщенным, если волны имеют возможность захватить все то количество наносов, которое они в состоянии перемещать, и на перемещение наносов тратятся все 100% волновой энергии. Это возможно при том, что вся береговая зона сложена достаточно мощной толщей наносов, и волны не в состоянии соприкоснуться с подстилающими коренными породами как на берегу (с клифом), так и на подводном склоне моря (с бенчем).

При дефиците нагрузки первая часть волновой энергии исключается из перемещения наносов, например, тратится на абразию или на преодоление искусственных сооружений. Вторая часть энергии волн может тратиться на разрушение обнаженного берега или коренных пород на подводном склоне. Третья, наименьшая часть энергии, задействуется на перемещение наносов, но бывает, что и эти затраты не наблюдаются по причине отсутствия наносов. Локальные участки бенча на дне или в зоне заплесков волн всегда служат показателем ненасыщенного потока. В зависимости от местных условий (уклонов дна и запасов наносного материала разной крупности) отдельные подвижки наносов могут быть на одних глубинах насыщенными, а на других — иметь дефицит нагрузки или вовсе отсутствовать. В общем, чем больше наносов вовлекается в подвижки и вдольбереговой поток в целом, тем меньше дефицит нагрузки.

Мощностью (нагрузкой, по В. В. Лонгинову [22, 24]) вдольберегового потока называют реальное, действительное количество наносов, проходящее через данное поперечное сечение береговой зоны в единицу времени (обычно год), независимо от того, является поток насыщенным или нет. Он представляет собой значимую алгебраическую сумму отдельных штормовых подвижек наносов в течение года относительно поперечного профиля сечения [6, 7].

Если под влиянием каких-либо причин падает ёмкость потока (наносодвижущая энергия волнового поля), имеющего дефицит нагрузки, то его насыщенность увеличивается при сохранении той же мощности [32, 33]. Если же падает ёмкость насыщенного потока, то волны не в состоянии перемещать прежнее количество материала. Как следствие, часть наносов выпадает из потока, аккумулируясь на подводном склоне или у берега. При этом соответственно уменьшается и мощность потока, хотя он продолжает оставаться насыщенным.

Если возрастает энергия волнового поля насыщенного потока, то, при наличии достаточного количества наносов на пляже и подводном склоне, поток может оставаться насыщенным, но увеличивает свою мощность. Если же количество береговых наносов ограничено, их мало, то возникает дефицит нагрузки, и часть энергии волн может тратиться на абразию клифа и бенча, на истирание.

Различаются: протяженность отдельной подвижки наносов и длина вдольберегового потока наносов. Протяженность штормовой подвижки наносов (длина) — это в береговой зоне наибольшее расстояние, которое физически может пройти вся масса наносов от места её вовлечения в движение уже сформированного потока и до точки окончательной аккумуляции перемещаемого материала во время одного шторма. Алгебраическая сумма длин подвижек относительно поперечного профиля в течение действия суммы штормов противоположного направления вдоль морского берега создает эффективную область вдольберегового потока, которая может быть меньше или равной длине потока. Фактическая длина вдольберегового потока ограничивается непропусками наносов, выступами морского берега, перед которыми происходит полная разгрузка потока, участками, на которых величина  $+T_{рез}$  меняется на  $-T_{рез}$  (участок разгрузки и аккумуляции) и  $-T_{рез}$  на  $+T_{рез}$  (участок зарождения потока и доминирования абразии). Протяженность потока связана с границами вдольбереговой литодинамической ячейки [31]. Некоторая трудность в её определении возникает чаще всего на участке зарождения потока.

Вся протяженность вдольберегового потока наносов делится на:

- Участок зарождения потока — характеризуется преобладанием двухсторонних миграций наносов, дефицитом нагрузки, распространением абразионных форм рельефа, эфемерными (карманными пляжами), большими скоростями абразии бенча и клифа; преобладающим поступлением наносов в поток;

- Участок транзита — несмотря на наличие двухсторонних миграций наносов, сохраняется общий дефицит нагрузки потока, распространены абразионные формы рельефа; доминируют пляжи хотя и неширокие, но имеют сплошное распространение, скорости абразии могут быть большими. На некоторых участках в результате изменения уклонов дна возможна частичная разгрузка потока в виде аккумулятивных форм рельефа и нарастания береговой линии. В целом за многолетний период приход наносов с соседних участков равен расходу.

- Участок разгрузки потока и аккумуляции прибрежно-морских наносов. Здесь преобладает однонаправленное перемещение наносов, поток насыщен, мощность максимальна, в результате падения емкости распространены аккумулятивные формы рельефа, отмечается прогрессирующее выдвигание береговой линии.

- Протяженность потока обычно легко поддается определению при геоморфологических и литологических исследованиях. Вдоль ровных берегов она может достигать сотен и даже тысяч километров. Наоборот, изрезанные бухтовые и лопастные берега обычно имеют много коротких потоков, направленных от мысов к вершине бухт или от мыса к мысу. Берега с неровным контуром представляют в этом отношении наибольшую сложность. Незначительные изменения направления береговой линии вызывают в таких местах иногда явления дивергенции (расхождения) и конвергенции (схождения) потоков.

• Состав наносного материала в составе потоков может быть самым разнообразным, от тонкого песка до валунов. Существуют даже илистые потоки наносов, в условиях как приливных, так и неприливных морей [14, 15, 28]. Состав может меняться по протяжению берега в результате дополнительного питания потоков, на отдельных участках, отличаться на пляже по сравнению с подводным склоном, а также могут истираться относительно грубозернистые наносы.

Наибольшей мощностью обладают илистые потоки наносов — от сотен тысяч и до миллионов м<sup>3</sup>/год. Меньшую мощность имеют песчаные потоки наносов, она чаще всего колеблется от нескольких десятков до сотен тысяч м<sup>3</sup>/год. Еще меньшей мощностью обладают галечные потоки наносов — порядка десятков тысяч м<sup>3</sup>/год. Примерно такой же мощностью характеризуются и ракушечные потоки наносов. Таким образом, коэффициент полезного действия волн на песчаных берегах примерно на порядок выше по сравнению с илистыми наносами, но на порядок ниже по сравнению с гравийно-галечными и ракушечными потоками. Это объясняется тем, что песок приходит в движение при несравненно меньших скоростях движения воды, а подводный склон на них бывает значительно шире. Смешанные берега (песчано-галечного состава) дают промежуточные величины мощности.

На песчаных берегах максимальное количество наносов (максимальная мощность) в потоке движется в зоне максимального разрушения волн, в основном на глубинах от 2–3 м до 5–8 м, реже — на глубинах до 15–20 м. Песок взмучивается преимущественно волновыми давлениями, а перемещается под действием волновых течений [2, 3, 17, 19, 22]. На галечных берегах максимальное количество наносного материала перемещается у уреза в зоне разрушения прибойного потока крупной штормовой волны. Галечные и гравийно-галечные наносы движутся в основном под действием прибойного потока штормовой волны (высота  $h_0$ ), в узкой полосе пляжа и подводного склона, начиная от глубины окончательного обрушения ( $H_{обр} \approx 0,7-0,8 h_0$ ) и выше.

**О направлениях потоков наносов.** Для определения направления движения наносов в береговой зоне морей нужно использовать не один, а комплекс некоторого множества методов [15, 23, 24, 32]. Наиболее достоверные результаты достигаются множеством следующих методов, принятых в береговедении.

1. Гидрометеорологические (“ветроэнергетические”) — прогноз направления вдольберегового перемещения наносов осуществляется по данным о ветровом режиме береговой зоны. Для этого производится расчет  $+T$ ,  $-T$  и  $T_{рез}$ . Наиболее распространенными являются методы Р. Я. Кнапса; Н. Д. Шишова; Д. Я. Бертмана, В. Б. Дроздова, И. В. Шкарупо.

2. Волноэнергетические — прогноз вдольберегового перемещения наносов ведется по данным о волновом режиме побережья, и важнейшими также являются расчеты результирующего вектора вдольбереговой составляющей  $T_{рез}$ . Наиболее достоверные результаты дают методы А. М. Жданова и В. В. Лонгинова.

3. Петрографический — применим на галечных берегах и суть его сводится к выявлению и прослеживанию какой-либо породы-индикатора или же к изучению соотношений содержания обломков несколько достаточно резко различающихся пород. Этот метод впервые разработан и применен на Кавказском побережье Черного моря Ю. С. Кашиным, а позже — группой исследователей под руководством А. Г. Кикнадзе.

4. Минералогический — путем изучения минералогического состава наносов выделяется характерный комплекс тяжелых минералов и прослеживается его распространение вдоль берега. Именно такой метод был применен Е. Н. Невеским на Каспийском море, В. Г. Ульстом, Ю. Д. Шуйским и В. Р. Бойнагряном на Балтийском море, Ю. П. Хрустальевым на Азовском море, Л. И. Пазюком и Л. В. Ищенко на Черном море.

5. Метод искусственной индикации (метод люминофоров). Отобранный в береговой зоне песчаный материал окрашивается люминофорами и выбрасывается в районе исследования. Спустя определенное время отбираются пробы и определяется количество окрашенных частиц. По ним несложно вычисляется генеральное направление движение наносов вдоль морского берега. Этот метод был применен Н. А. Айбулатовым, И. Ф. Шадриним, Е. Н. Егоровым, Д. Я. Бертманом.

6. Морфологический (“морфометрический”) метод — производится анализ облика, строения, соотношения береговых абразионных и аккумулятивных форм рельефа, ориентировка аккумулятивных форм и составляющих их элементов относительно береговой линии. Направление потока наносов оценивается по экспозиции аккумулятивных форм, по степени их совпадения с результирующим вектором  $E$  и вдольбереговой наносодвижущей силой  $T_{рез}$ , с распределением гранулометрических и минералогических характеристик, с расположением источников наносов, с алгебраической суммой отдельных штормовых подвижек наносов.

Рассмотренные методы исследования вдольбереговых потоков наносов дают наибольший эффект, если они применяются в комплексе друг с другом.

## **Выводы**

1. Необходимость в описаниях и исследованиях движения наносов имеет давнюю историю, поскольку данный вопрос необходим для освоения хозяйственного использования морских берегов. Исследования привели к формулировке явления вдольберегового потока волновой энергии и потока наносов. Затем последовали разработки методов расчета отдельных характеристик потоков наносов. Было выполнено районирование потоков и классификации их структуры по разным признакам.

2. Вдольбереговое перемещение потока наносов является одним из основных факторов формирования и изменения рельефа береговой зоны. Два главнейших типа рельефа, абразионный и аккумулятивный, тесно связаны между собой именно вдольбереговыми потоками и поперечными миграциями наносов, действующими синхронно. По составу наносов

различаются три основных вида потоков: илистые, песчаные и гравийно-галечные.

3. Составляющими элементами вдольбереговых потоков являются отдельные штормовые миграции наносов. Они характеризуются количеством наносов, вовлеченных в движение одним штормом определенной “силы” (количеством энергии) и направления вдоль берега. В течение года бывает некоторое множество подвижек с различной силой и направлением вдоль берега. Подвижки имеют годовую ритмичность, а потому вдольбереговой поток рассчитывается в среднем за год.

4. Каждая подвижка может иметь размерность в виде  $m^3/шторм$  или  $m/шторм$ , а мощность вдольберегового потока наносов —  $m^3/год$  или  $m/год$ . Зная характеристики каждой подвижки, можно выполнять расчеты за декаду, месяц и сезон года. Обычно расчеты ведутся для одной вдольбереговой ячейки, в пределах которой развивается один вдольбереговой поток наносов.

5. Каждый вдольбереговой поток наносов имеет различные участки — зарождения, транзита и разгрузки, а характеризуется емкостью, мощностью и дефицитом нагрузки. Основными его элементами являются направление действия, мощность и совокупность отдельных подвижек.

## Литература

1. Аверин В. З., Сидорчук В. Н., Сокольников Ю. Н. К расчету зоны формирования вдольбереговых потоков наносов // Геология побережья и дна Черного и Азовского морей в пределах СССР. — 1968. — Вып. 2. — С. 100–108.
2. Айбулатов Н. А. Исследования вдольберегового перемещения песчаных наносов. — Москва: Наука, 1966. — 159 с.
3. Айбулатов Н. А. Динамика твердого вещества в шельфовой зоне. — Ленинград: Гидрометеоиздат, 1990. — 271 с.
4. Аркадьев Н. А., Куляшин Л. Н. Основы литодинамики и морфодинамики морских побережий. — Ленинград: Гидрометеоиздат, 1989. — 110 с.
5. Баском В. Волны и пляжи. — Ленинград: Гидрометеоиздат, 1966. — 280 с.
6. Бертман Д. Я. Некоторые результаты расчета перемещения наносов в прибрежной зоне моря // Развитие морских берегов в условиях колебательных движений земной коры: Сб. научн. трудов, отв. ред. А. Раукас. — Таллин: Валгус, 1966. — С. 218–221.
7. Бертман Д. Я., Шуйский Ю. Д., Шкарупо И. В. Характеристика движения морских наносов вдоль пересыпи Сухого лимана // Труды СоюзморНИИпроекта. — 1968. — Вып. 20 (26). — С. 143–148.
8. Божич П. К. К изучению движения береговых наносов Черного моря // Известия Центр. гидрометеорол. бюро. — 1927. — Вып. VII. — С. 13–33.
9. Божич П. К. Размыв морского берега в Гаграх // Ученые записки МГУ (Морские берега). — 1938. — Вып. 19. — С. 68–85.
10. Божич П. К., Джунковский Н. Н. Морские волнения и его действия на сооружения и берега. — Москва: Изд-во МСПМ, 1949. — 335 с.
11. Глушков В. Г. Фокусы действия прибоя // За рационализацию гидрологии: Сб. научн. трудов. — Ленинград: Изд-во ГГИ, 1934.
12. Жданов А. М. Определение энергетической равнодействующей волнового режима морского побережья // Известия АН СССР. Сер. геогр. и геофиз. — 1951. — № 1. — С. 81–90.
13. Зенкович В. П. Образование аккумулятивных форм при изменении направления коренного берега // Доклады АН СССР. — 1945. — Т. 48. — № 5. — С. 343–345.
14. Зенкович В. П. Динамика и морфология морских берегов. — Часть 1. Волновые процессы. — Москва-Ленинград: Морской транспорт, 1946. — 496 с.

15. *Зенкович В. П.* Основы учения о развитии морских берегов. — Москва: Изд-во АН СССР, 1962. — 710 с.
16. *Кинг К. А. М.* Пляжи и берега. — Москва: Изд-во ИЛ, 1963. — 435 с.
17. *Кнапс Р. Я.* Перемещение наносов у берегов Восточной Балтики. — Рига: Латгипропром, 1965. — 27 с.
18. *Кнапс Р. Я.* // О применимости энергетического метода В. В. Лонгинова для расчета перемещения наносов на песчаных отмелях побережьях // Труды СоюзморНИИпроекта. — 1973. — Т. 34 (40). — С. 117–125.
19. *Кнапс Р. Я.* К определению характеристик энергетического состояния берегового склона // Исслед. динамики рельефа морских побережий: Сб. научн. трудов. Под ред. В. П. Зенковича и Л. Г. Никифорова. М.: Наука, 1979. — С. 70–80.
20. *Костенко Н. П.* Геоморфология. — Москва: Изд-во МГУ, 1999. — 383 с.
21. *Леонтьев О. К., Никифоров Л. Г., Сафьянов Г. А.* Геоморфология морских берегов. — Москва: Изд-во Московского унив., 1975. — 336 с.
22. *Лонгинов В. В.* Динамика береговой зоны бесприливных морей. — Москва: Изд-во АН СССР, 1963. — 346 с.
23. *Лонгинов В. В.* Обзор методов расчета вдольберегового перемещения наносов в береговой зоне моря // Труды СоюзморНИИпроекта. — 1966. — № 14 (20). — С. 40–81.
24. *Лонгинов В. В.* Энергетический метод оценки вдольбереговых перемещений наносов в береговой зоне моря // Труды СоюзморНИИпроекта. — 1966а. — № 12 (18). — С. 13–28.
25. *Пешков В. М.* Галечные пляжи неприливных морей: основные проблемы теории и практики. — Краснодар, 2005. — 444 с.
26. *Пышкин Б. А.* Вопросы динамики берегов водохранилищ. — Киев: Изд-во АН УССР, 1963. — 332 с.
27. *Пышкин Б. А., Цайтц Е. С., Сокольников Ю. Н.* Регулирование вдольберегового потока наносов. — Киев: Наукова думка, 1972. — 136 с.
28. *Руководство по методам исследований и расчетов перемещения наносов и динамики берегов при инженерных изысканиях* // Под ред. Н. М. Костяницына, Л. А. Логачева, В. П. Зенковича. — Москва: Гидрометеиздат, 1975. — 240 с.
29. *Стоян А. А.* Об истории формирования современного береговедения // Людина і довкілля. — 2005. — Вип. 7. — С. 51–61.
30. *Шишов Н. Д.* Метод расчета мощности потока (объема) песчаных наносов в морях и больших озерах // Труды СоюзморНИИпроекта. — 1956. — № 3. — С. 47–53.
31. *Шуйский Ю. Д.* Баланс наносов в береговой зоне и значение его исследования // Проблемы развития морских берегов: Сб. научн. трудов. Отв. ред. Н. А. Айбулатов. — Москва: ИОАН СССР, 1989. — С. 17–22.
32. *Шуйский Ю. Д., Выхованец Г. В.* Режим вдольбереговых потоков наносов в северо-западной части Черного моря // Известия Всес. Географич. Об-ва. — 1983. — Т. 115. — Вып. 5. — С. 420–429.
33. *Шуйский Ю. Д., Выхованец Г. В.* Экзогенные процессы развития аккумулятивных берегов в северо-западной части Черного моря. — Москва: Недра, 1989. — 198 с.
34. *Knaps R. J.* Prüfung der Formel von Munch-Petersen über Materialwanderung an der Lettischen Küste // Volume VI Balt. Hydrologische Confer. — Berlin: Springer Publ. Kom., 1938. — S. 60–103.
35. *Munch-Petersen T.* Über Materialwanderung an Meeresküsten // Volume Hydrol. Konferenz der Baltischen Staaten. — Helsinki: Akad. Sci., 1936.
36. *Johnson J. W.* Dynamics of nearshore sediment movement // Bull. of American Association Petrol. Geologists. — 1956. — Vol. 40. — № 98. — P. 935–950.
37. *Shuisky, Yu. D., Schwartz, M. L.* Basic principles of sediment budget study in the coastal zone // Shore & Beach (USA). — 1983. — V. 51. — № 1. — P. 34–40.

**Ю. Д. Шуйський, Г. В. Вихованець, Л. В. Орган**

Кафедра фізичної географії та природокористування,  
Одеський національний університет імені І. І. Мечникова,  
вул. Дворянська, 2, Одеса-82, 65082, Україна

## **ДО ПИТАННЯ ПРО РЕЖИМ УЗДОВЖБЕРЕГОВОГО РУХУ НАНОСІВ У БЕРЕГОВІЙ ЗОНІ МОРІВ**

### **Резюме**

Виконаний аналіз бібліографічних джерел, що присвячені результатам дослідження берегової зони моря та літодинамічних процесів в її межах. Звернуто увагу на поняття про уздовжбереговий потік наносів, виконано аналіз його режиму. Визначено 5 провідних характеристик потоків наносів: потенційна ємність, ступінь насичення, тужня, довжина (ділянки започаткування, транзиту, акумуляції), склад осадкового матеріалу. Представлено стисле викладення методів дослідження уздовжберегових потоків наносів.

**Ключові слова:** море, берегова зона, вздовжбереговий потік, рух, наноси.

**Yu. D. Shuisky, G. V. Vykhoanets, L. V. Organ**

Physical-Geography Department,  
National Mechnikovs University of Odessa,  
2, Dvoryanskaya St., Odessa-82, 65082, Ukraine

## **ABOUT ALONGSHORE DRIFTING REGIME IN A COASTAL ZONE OF A SEA**

### **Summary**

Analysis of bibliography was accomplished according to research the coastal zone of the sea, sediment movement especially. Different parameters ( $E$ ,  $A$ ,  $B$ ,  $+T$ ,  $-T$ ) of alongshore drift currents was analysed. In boundaries of one alongshore sediment flow three basic sites were distinguished: conception site, transit site and accumulation site. Composition of shore sediment was researched. Short characteristics of different methods (wind-energetic and wave-energetic) were representated and elaborated.

**Key words:** coastal zone, drifting, sediment, sea, shore slope, site, wind, wave.