МОРФОДИНАМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ НАНОСОВ И ФОРМИРОВАНИЯ РОССЫПЕЙ ПЛЯЖЕЙ И ПРИЛИВНЫХ ОСУШЕК.

Сафьянов Г.А.

МГУ им. М.В. Ломоносова, Географический факультет

E-mail: lm-shipilova@rambler.ru

Дифференциацию, сортировку осадков и формирование прибрежно-морских россыпей следует рассматривать как реализацию динамического равновесия между исходным составом осадков и исходными геоморфологическими условиями берега с одной стороны и гидродинамическим режимом примыкающей морской акватории с другой стороны.

Для возникновения россыпей необходимо, чтобы при достижении определенного уровня механической сортировки наносов по гранулометрическому составу ведущее место в дальнейшем преобразовании осадков заняла бы их дифференциация по плотности и форме частиц. Процесс грануло-минералогической дифференциации непрерывен и выявить основные условия и причины, управляющие ею, — значит понять механизм перемещения и концентрации тяжелых минералов. Рассмотрены основные особенности поперечной и продольной дифференциации наносов на пляжах и приливных осушках микроприливного моря.

Гранулометрическая дифференциация прибрежно-морских осадков представляет собой одно из важнейших следствий воздействия типичных гидрогенных литодинамических процессов береговой зоны моря на наносы. Наиболее эффективно такое воздействие проявляется в области действия прибойного потока. На примере исследований на полигоне Терского берега Белого моря установлены основные закономерности изменения гранулометрического состава наносов пляжей и приливных осушек вдоль контура берега при их вдольбереговом перемещении от точечного источника (устья реки). Эти закономерности служат надежным индикатором вдольберегового перемещения наносов. При поступлении из точечного источника крупность исходных наносов в целом уменьшается к периферии области их вдольберегового перемещения. Объемы вдольберегового перемещения наносов примерно соответствует величине стока наносов р. Варзуга, а береговая линия на устьевом участке не обнаруживает заметного планового смещения за последние десятилетия.

Для района исследований высота волн 0,1 % режимной обеспеченности составляет около 2,5 м, а период – 7 с. Приливы – правильные полусуточные с амплитудой 2 м. В плане на исследуемом участке береговая линия практически нерасчленена и слабовогнута. В центре полигона выделяется аккумулятивный участок, окаймляющий устье р. Варзуга. Внутри него можно выделить два подтипа – внутренний и фланговый, а, кроме того, приустьевые участки на правом (западном) и левом (восточном) берегах реки. Центральная часть приустьевой области отличается ярко выраженным аккумулятивным обликом рельефа, к тому же для нее характерно широкое распространение эоловых форм: полей дюн и поверхностей эолового выравнивания. Сток наносов р. Варзуга составляет величину около 13 тыс. т/год. Большая часть поступающих наносов, перемещается вдоль берегов преимущественно к востоку от устья. Источником наносов пляжей и осушек, служит также и поперечное перемещение наносов с примыкающего подводного берегового склона.

Приустьевая область отличается хорошей отсортированностью отложений по всему профилю осушки, - в наносах доминируют пески фракций 0,25–0,5 мм и 0,1–0,25 мм, причем на левом, восточном берегу преобладает фракция 0,25–0,5 мм, тогда как на правом берегу максимальных значений достигает фракция мелкого песка. Эти различия свидетельствуют о дивергенции вдольбереговых потоков наносов в устьевой области. Для

центра приустьевого участка характерна аккумуляция песчаного материала, относительно широкие приливные пляжи полного профиля, значительное распространение эоловых процессов и высокие концентрации тяжелых минералов на уровне среднеквадратурного прилива. Его протяженность 14 км: западнее р. Варзуга - около 8 км, а восточнее - около 6 км. По мере удаления от устья Варзуги, как на восточной, так и на западной частях полигона берег изменяется, количество песчаного материала в береговой зоне резко уменьшается. Пляж полного профиля по мере удаления от устья трансформируется в прислоненный.

Из регионального анализа следует, что пляжи и приливные осушки представляют собой в значительной мере взаимосвязанные формы рельефа. Наличие широкой осушки приводит к значительной диссипации энергии волн, к уменьшению высоты волн в области последнего разрушения и к ослаблению прибойного потока, - формируется низкий пляж со слабо развитым чехлом плохо отсортированных наносов. Полная рефракция волн над широкой осушкой исключает или затрудняет вдольбереговое перемещение наносов в зоне пляжа, и оно может осуществляться только на морском крае осушки. Уменьшение ширины осушки сопровождается ростом энергии волн, подходящих к пляжу, увеличением высоты и ширины пляжа, а также ростом отсортированности наносов. Малая ширина осушки обеспечивает возможность косого подхода волн к берегу и развития вдольберегового перемещения наносов.

В ходе анализа сотен образцов установлена четкая дифференциация гранулометрического состава наносов по профилю берега и приливной осушки. Анализ образцов, взятых в определенных динамических точках пляжа и осушки показал, что медианный диаметр достигает максимума у подножия пляжа на уровне среднеквадратурного прилива. В обе стороны происходит снижение крупности наносов, однако гораздо меньшее в сторону суши по сравнению с более значимым уменьшением крупности к внешнему краю приливной осушки. Характерно, что максимальные концентрации тяжелой подфракции в мелком песке свойственны вершине заплеска прибойного потока, то есть верхней части пляжа.

Особенности поперечной сортировки наносов по выделенным геоморфологическим провинциям отражают литодинамические и морфодинамические особенности берегов. Центральный приустьевой участок характеризуется инверсией грансостава: более крупные пески располагаются на внешнем крае осушки, где воздействие волнения более интенсивно. Переходные участки характеризуются «нормальным» распределением грансостава – крупность наносов в целом возрастает вверх по профилю, что особенно заметно в восточной переходной области. Одновременно лучшая сортировка наносов свойственна внешней части осушки, тогда как к вершине заплеска прибойного потока сортировка ухудшается, отражая поступление наносов из разных источников. Фланговые участки существенно различаются: осушкам западного фланга свойственна слабая сортировка и уменьшение крупности наносов к внешнему краю, тогда как восточному флангу характерно укрупнение наносов к мористому краю осушки и довольно хорошая сортировка наносов в целом.

Рассматривая продольную (вдольбереговую) структуру гранулометрического состава наносов, обратим внимание на две области относительного укрупнения осадков: вблизи м. Толстик и к востоку от устья р. Индера. Увеличение их крупности связано с близким выходом к поверхности коренных пород терской свиты. Значительный вклад в увеличение крупности наносов этих областей, несомненно, внесло поперечное перемещение наносов с подводного берегового склона, где абрадируются песчаники, аевролиты и аргиллиты терской свиты. Однако отчасти относительно крупные наносы поступают и от устья р. Индера вследствие вдольберегового перемещения. Наносы в центральной приустьевой области представлены почти исключительно песками средне- и мелкозернистыми. Максимум наиболее грубозернистой части состава наносов (более 0,5 мм) смещается в

направлении преобладающего вдольберегового транспорта. Такое смещение составляет для устья р. Варзуга 3–4 км и для устья р. Индера 4–6 км. Эта область сформирована дивергенцией потоков наносов от устья Варзуги при преобладании их движения к востоку. Величина расхода вдольберегового потока наносов должна возрастать при перемещении к востоку от устья, поскольку возрастает длина разгона волн, подходящих к берегу с запада. Направление этого переноса отчетливо фиксируется подводной косой, которая проходит от правобережья р. Индера на расстояние около 3 км к востоку.

Минералогическая дифференциация прибрежно-морских наносов на мелководьях наиболее ярко осуществляется при условии достаточно однородного гранулометрического состава. При наличии сравнительно однородного по гранулометрическому составу исходного материала, в верхней части береговой зоны должно происходить накопление гидравлически более крупных частиц (в частности, тяжелых минералов), а ниже по профилю должны накапливаться гидравлически относительно мелкие частицы.

В рамках исследования процессов и итогов дифференциации и сортировки наносов на пляжах Терского берега Белого моря, примыкающих к устьевой области р. Варзуга, был проведен детальный отбор проб наносов, рассев образцов и обработка полученных данных, а также геолого-геоморфологические наблюдения. Изученный участок берега имеет в длину около 50 км. В его пределах наносы поступают из двух источников - рек Варзуга и Индера, а также ряда ручьев, сосредоточенных в основном к юго-востоку от устья р. Варзуга. Исследованная область представляет собой автономную литодинамическую систему, ограниченную м. Толстик на западе и м. Крутая Гора на юго-востоке. Наносы отобраны на 35 поперечниках (по 3–4 образца на каждом из них). Пробы на каждом створе отбирались в определенных морфодинамических точках профиля: в вершине заплеска прибойного потока на уровне прилива; у основания пляжа, характеризующегося резким перегибом уклона; в средней и (или) нижней части осушки на уровне отлива. Таким образом, имелась возможность определить тенденции дифференциации наносов, связанные с их поперечным перемещением. После выделения при рассеве фракций наносов 0,1-0,25 мм и 0,05–0,1 мм было произведено деление образцов в бромоформе и выделены подфракции тяжелых минералов. Всего обработано подвергнуто и просмотру 214 образцов.

В ходе детального анализа десятков образцов установлена четкая дифференциация гранулометрического состава наносов по профилю берега и приливной осушки. Максимальные концентрации тяжелой подфракции в мелком песке свойственны вершине заплеска прибойного потока, то есть верхней части пляжа. Однако для отложений авндюн обнаруживается еще большее (примерно на 60%) содержание тяжелых минералов. В значительной мере это обусловлено относительным обогащением песков тяжелыми минералами, вследствие эолового выноса легких частиц песка. Следует также иметь в виду, что интенсивная сепарация тяжелых минералов в отложениях авандюн осуществляется при действии наиболее сильных штормов в сочетании с повышенным уровнем моря при действии сизигийных приливов, а также нагонов и других непериодических колебаний уровня. Во фракции мелкого песка абсолютным преобладанием концентрации тяжелых минералов отличается вершина заплеска прибойного потока, а также пояс авандюн, приуроченных в основном к центральной аккумулятивной области в окрестностях устья р. Варзуга. Пониженными значениями в сравнении с вершиной заплеска (в 2–3 раза) концентраций тяжелых минералов характеризуется основание пляжа квадратурного прилива, а еще меньшим значением - отложения средней и нижней части приливной осушки, где концентрация тяжелых минералов снижается на 30-60% от значений концентрации у основания пляжа. Различия значений концентрации тяжелых минералов выравниваются лишь флангам литодинамической системы (м. Толстик и м. Крутая Гора). Во фракции крупного алеврита

различается на профиле в концентрациях тяжелых минералов в большинстве случаев незначительны или существенно уменьшаются в сравнении с фракцией мелкого песка.

Вдольбереговая (продольная) структура распределения тяжелых минералов характеризуется максимумом, приуроченным к устью р. Варзуга, который охватывает область, простирающуюся на 4 км к западу и на 10 км к востоку от устья. Абсолютный максимум концентрации тяжелых минералов оказывается смещенным к востоку от устья на расстояние 2,6 км. Эти данные свидетельствуют о преобладании вдольберегового перемещения наносов к востоку от устья р. Варзуга. Другой максимум тяжелых минералов приурочен к восточному флангу системы от руч. Кривой Ручей до м. Крутая Гора и охватывает 7 км берега, испытывающего дефицит наносов. Вместе с тем продольная структура распределения тяжелых минералов во фракции крупного алеврита не обнаруживает заметной асимметрии относительно устья р. Варзуга.

Исследование минералов тяжелой подфракции позволяет в частности отметить некоторые особенности. Преобладающими минералами в спектрах являются амфиболиты, пироксены и гранаты. Западный участок полигона, примыкающий к м. Толстик, характеризуется значительным преобладанием слюды. Причем она заметна не только при анализе, но и визуально даже во фракции среднего песка (0,25–0,5 мм). Источником ее является не только абрадируемые коренные породы м. Корабль (песчаники, алевролиты терской свиты), но и подводный береговой склон. Среди минералов-спутников алмаза (шпинели, хромшпинелиды, пиропы и хромдиопсиды) наиболее заметна приуроченность к восточному флангу литодинамической системы (от руч. Кривой Ручей до м. Крутая Гора).

В результате полевых работ на Варзугском полигоне Терского берега Белого моря была выявлена существенная естественная радиоактивность аллювиально-морских песков (до 300–400 мкР/ч) по берегам эстуария Варзуги. Кроме того, на некоторых участках полигона было отмечено увеличение естественной радиоактивности морских пляжевых песков до предельно допустимых значений (30 мкР/ч). Однако большинство областей повышенных концентраций тяжелых минералов в пределах полигона имеют естественную радиоактивность, близкую к предельно допустимым значениям. Опасно высокие значения интенсивности излучения (до 444 мкР/ч) имеют аллювиально-морские пески по берегам эстуария р. Варзуга в 3-3,5 км от устья, как по правому, так и по левому берегу эстуария на вогнутых в плане подмываемых берегах.

Для возникновения россыпей тяжелых минералов на пляжах и приливных осушках необходимыми условиями являются наличие источника поступления рассеянных или слабо концентрированных минералов в виде твердого стока рек, ручьев или размываемых отложений и источника энергии для дифференциации наносов. При формировании поперечной структуры дифференциации наносов по гранулометрическому и минеральному составу наибольшее значение имеет асимметрия придонных волновых скоростей и прямого и обратного заплеска прибойного потока. Во многих случаях значительное влияние на концентрацию тяжелых минералов в верхней части береговой зоны оказывает эоловый вынос относительно легких частиц в сторону суши.

При продольном перемещении наносов от источника их поступления на берег наиболее существенны градиенты вдольбереговой составляющей потока волновой энергии. Максимальным градиентам энергии соответствуют максимальные концентрации тяжелых минералов. В ходе исследований была установлена приуроченность высоких концентраций тяжелых минералов к участкам дивергенции вдольбереговых потоков наносов, а кроме того и тяготения повышенных концентраций тяжелых минералов к участкам дефицита наносов.

Максимум концентрации тяжелых минералов оказывается смещенным относительно точечного источника в направлении вдольберегового перемещения наносов. Такое

смещение может быть рассматриваемо как надежный признак направления вдольберегового транспорта наносов.

Важнейшая роль угла подхода волн к берегу для определения величины расхода вдольберегового потока наносов широко известна. Функция угла подхода волн имеет максимум при его значении, равном 45°. Однако для дифференциации движущихся вдоль берега наносов важна не только абсолютная величина расхода, но и скорость ее изменения при различных углах подхода волн к берегу. Суммарный эффект воздействия угла подхода волн к берегу на дифференциацию осадков определится произведение функции угла подхода на производную этой функции, что дает величину в 22,5°. При таком угле подхода и расход вдольберегового потока наносов довольно велик и его градиенты достаточны для реализации механизма дифференциации.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ 09-05-00664.