

ФИЗИЧЕСКАЯ ГЕОГРАФИЯ, ЛАНДШАФТОВЕДЕНИЕ И ГЕОМОРФОЛОГИЯ

Научная статья

УДК 556:551.435(0450.311.3)

doi: 10.17072/2079-7877-2022-2-6-16

**ВЛИЯНИЕ ЭОЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ (ФАКТОРА ВЕТРА)
НА ФОРМИРОВАНИЕ И МОРФОЛОГИЮ РУСЕЛ И ПОЙМ РАВНИННЫХ РЕК****Роман Сергеевич Чалов**

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г.Москва, Россия

rschalov@mail.ru, Scopus Author ID: 7003283104, Researcher ID: L-8754-2015, IstiniaResearcherID (IRID): 429939,

Author ID: 58839

Аннотация. Дается обобщенная характеристика влияния эолового фактора на русловые процессы в устьевых областях, на больших и крупнейших реках. Показано, что воздействие ветра проявляется, во-первых, в изменении гидравлической структуры потока, приводя к увеличению или снижению поверхностной скорости, поперечным перекосам водной поверхности, нагонным и сгонным денивеляциям уровней, вызывающих подпор потока или увеличение уклонов (спад уровней). Соответственно, это сказывается в развитии процессов эрозии в наветренных частях русла, аккумуляции наносов и обмелении подветренных, в том числе находящихся здесь протоков и рукавов, усилении и ослаблении размыва берегов в зависимости от соотношения векторов направления течения реки и ветра. Во-вторых, эоловый процесс при обсыхании в межень песчаных прирусловых отмелей вызывает дефицит наносов в подветренной части русла и их аккумуляцию в наветренной, обуславливая ее обмеление, а также усиливая размывы оголовков островов или накопление наносов в их ухвостьях. В-третьих, переносимый с отмелей песок аккумулируется на пойме вдоль ее бровки, образуя дюны. Формирование последних создает новые условия для взаимодействия руслового и пойменного потоков во время половодья. Гидроклиматические изменения конца XX – начала XXI вв. способствуют зарастанию прирусловых отмелей и дюн на пойме. Показаны и другие формы влияния эоловых процессов на русла рек.

Ключевые слова: русловые и эоловые процессы, ветер, денивеляция уровней, сгоны, нагоны, размывы русла и берегов, аккумуляция наносов, дюны, обмеление рукавов

Благодарности: исследования выполнены по планам НИР (госзадание) научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов имени Н.И. Маккавеева и кафедры гидрологии суши МГУ имени М.В. Ломоносова при частичной поддержке РФФ (проект 18-17-00086 П – специфика русловых процессов и режима переформирований разветвлений русел при воздействии ветра).

Для цитирования: Чалов Р.С. Влияние эоловых процессов (фактора ветра) на формирование и морфологию русел и пойм равнинных рек // Географический вестник = Geographical bulletin. 2022. № 2(61). С. 6–16. doi: 10.17072/2079-7877-2022-2-6-16.

PHYSICAL GEOGRAPHY, LANDSCAPES AND GEOMORPHOLOGY

Original article

doi: 10.17072/2079-7877-2022-2-6-16

INFLUENCE OF EOLIAN PROCESSES (WIND FACTOR) ON THE FORMATION AND MORPHOLOGY OF CHANNELS AND FLOODPLAINS OF PLAIN RIVERS**Roman S. Chalov**

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

rschalov@mail.ru, Scopus Author ID: 7003283104, Researcher ID: L-8754-2015, IstinaresearcherID (IRID): 429939, Author ID: 58839

Abstract. The paper provides a generalized description of the influence of the eolian factor on channel processes in mouth areas of large and largest rivers. It is shown that the impact of wind manifests itself, firstly, in a change in the hydraulic structure of the flow, which leads to an increase or decrease in the surface velocity, transverse distortions of water surface, and level derivations due to up and down surges, causing flow backwater or an increase in slopes (level drop). Accordingly, this affects the development of erosion processes in the windward parts of the channel, accumulation of sediments and shallowing of the leeward parts, including channel branches located here, and the strengthening or weakening of bank erosion depending on the ratio of the vectors of the river flow and wind directions. Secondly, when channel sandy side-bars dry out in a low water period, the eolian process causes a deficit of sediments in the leeward part of the channel and their accumulation in the windward part, leading to its shallowing, as well as intensifying erosion of the island heads or accumulation of sediments in their tails. Thirdly, sand transported from the shoals is accumulated on the floodplain along its edge, forming dunes. The formation of dunes creates new conditions for the interaction of channel and floodplain flows during the flood period. Hydroclimatic changes in the late 20th - early 21st centuries contributed to the overgrowth of riverine shallows and dunes on the floodplain. Other forms of influence of eolian processes on river channels are also shown.

Keywords: channel and eolian processes, wind, water level derivation, up and down surges, channel and bank erosion, sediment accumulation, dunes, shallowing of channel branches

Funding: The paper was prepared in accordance with the plan of scientific research (as part of a state assignment) of the Department of Land Hydrology and the Makkaveev Laboratory of Soil Erosion and Fluvial Processes of Lomonosov Moscow State University, with financial support of the Russian Science Foundation (project No. 18-17-00086 P – ‘Specific features of channel processes and the mode of re-formation of channel forks under the influence of wind’).

For citation: Chalov, R.S. (2022). Influence of eolian processes (wind factor) on the formation and morphology of channels and floodplains of plain rivers. *Geographical Bulletin*. No. 2(61). Pp. 6–16. doi: 10.17072/2079-7877-2022-2-6-16.

Введение

Среди внешних по отношению к рекам факторов, оказывающих влияние на русловые процессы и отражающихся в морфологии их производных – речных пойм, определенное место занимает ветер. Воздействуя на водную поверхность, он вызывает ее перекосы, а в устьевых областях рек – нагонные и сгонные денivelляции уровней, создавая явления, подобные подпору и гидравлическому спаду. С ветром связано местное увеличение или снижение поверхностных скоростей течения. Обсыхающие в межень песчаные прирусловые отмели подвергаются развеванию, а переносимый ветром песок, откладываясь в наветренной части русла и на пойме, вызывая обмеление русла и расположенных здесь рукавов, формирует дюнный рельеф в прирусловой части поймы. Благодаря ветру на больших и крупнейших реках возникает волнение, оказывающее дополнительное влияние на размывы берегов (абразионный эффект) и переформирование дна русла на его мелководьях. Таковы, по-видимому, основные виды воздействия ветра на русла рек, которые при всей их очевидности и разнообразии

тем не менее за исключением сгонно-нагонных явлений в устьях рек, практически остаются неизученными, особенно в отношении их влияния на русловые процессы, а встречающиеся упоминания в литературе обычно дают лишь качественные описательные характеристики. Отсюда вытекает задача статьи: дать обобщение имеющихся сведений о ветре как факторе русловых процессов, обратить внимание на его роль в формировании русел и условия, соответствующие его проявлениям.

Материалы и методы исследований

Исходными данными для оценки влияния ветра на русловые процессы являются материалы, полученные при экспедиционных исследованиях русел рек верхней Оби, средней и нижней Лены [1–3], Вилюя, Амударьи, нижнего Амура, Северной Двины, ряда других больших и крупнейших рек, результаты которых впервые позволили обратить внимание на значимость в определенных условиях фактора ветра, воздействующего на реки и на обсыхающие в межень прирусловые отмели. При исследованиях в устьях больших рек (Лены, Яны, Индигирки, Енисея и др.) были выявлены специфические особенности русловых деформаций, происходящих благодаря сгонно-нагонным колебаниям уровней воды [4–6]. Натурные наблюдения и измерения на конкретных реках, в том числе скоростей потока при воздействии на него сильных ветров, картирование форм проявления эоловых процессов на пойме и прирусловых отмелях, гидролого-морфологические характеристики форм русла и русловой анализ с привлечением сведений о режиме ветров дали возможность установить взаимосвязи между русловыми и эоловыми процессами и особенности влияния последних на морфологию и динамику речных русел. Обобщение полученных результатов и имеющихся сведений в литературных источниках по нижнему Амуру [7], рекам Западной Сибири [8], а также по сгонно-нагонным явлениям в устьевых областях рек [3] позволили составить общее представление о роли фактора ветра и основных закономерностях его воздействия на русловые процессы.

Результаты и их обсуждение

Фактору ветра обычно уделяется достаточное внимание при изучении динамики потока в устьях рек, где нагоны и сгоны являются важнейшим условием формирования русел. Само выделение устьевых областей рек основывается на дальности проникновения вверх по течению от приемного бассейна (моря, озера) сгонно-нагонных колебаний уровня, особенно в неприливных устьях рек. Лишь в тех случаях, когда их влияние на уровень реки проявляется в пределах дельты, верхняя граница устьевой области проводится по ее вершине. Во время нагонов возникают обратные течения, сопровождающиеся проникновением в реку осолоненных вод. При сгонах дальность проникновения происходящих понижений уровня меньше, чем их повышения и возникновение подпора во время нагонов.

Эти явления достаточно хорошо были изучены В.Н. Михайловым [9] с точки зрения их воздействия, главным образом, на динамику потока; им же приведены графики изменения продольных уклонов водной поверхности при нагонах и сгонах, полученные на основе натурных наблюдений и по данным экспериментальных исследований, предложены аналитические решения, в том числе для распределения расходов воды по рукавам.

В результате подпоров, вызванных нагонами, в русле происходит аккумуляция наносов, при образовании кривой спада уровней во время сгонов – размывы русел, приводящие к их углублению и образованию протяженных переуглубленных (по отношению к участкам выше границы их распространения) плесов. Сгоны и нагоны оказывают также влияние на формы русла и горизонтальные русловые деформации. В зоне влияния нагонов выделяется несколько участков, в пределах которых происходят последовательно изменения или типов излучин самой реки, или рукавов дельты, если они меандрируют, или типов

русловых разветвлений. При этом излучины отличаются неоднородной крутизной и формой смещения. На верхнем участке, куда проникают нагоны 1%-й обеспеченности, благодаря подпору происходит снижение темпов смещения излучин в 1,5–2 раза, преобладает поперечное смещение. Ниже по течению, куда нагоны распространяются регулярно, вызывая подпор даже по время половодья, формируются круглые заваленные излучины, вершины которых смещены вверх по отношению к геометрической оси излучины из-за более интенсивного размыва вогнутого берега в верхнем крыле и привершинной части излучины. На нижнем участке дельтовых рукавов сказываются уже глубокий подпор и образование противотечений при нагонах практически во все фазы водного режима реки, а при сгонах – формирование кривой гидравлического спада; здесь же отмечается влияние ветрового волнения, создающего абразионный эффект при воздействии потока на берега. Русла расширяются, имея вне зависимости от своего типа вид раструбов [5; 6; 10].

На больших и крупнейших реках, с широкими водными акваториями, влияние ветра на русловые процессы проявляется по-разному. Во-первых, при направлении ветра поперек реки возникают поперечные перекосы водной поверхности: у подветренного берега происходит понижение уровня водной поверхности (сгон), у противоположного наветренного – его повышение (нагон), причем разница в отметках уровня у берегов может достигать на больших реках 70 см [11], что соответствует поперечному уклону в 0,10–0,20 ‰, сравнимому и даже превышающему продольный уклон. При продолжительных ветрах это приводит к формированию циркуляционных течений, направленных от наветренного (нагонного) берега к подветренному, благодаря которым донные наносы перемещаются в направлении последнего, тогда как у наветренного в придонных слоях потока возникает дефицит наносов, русло размывается.

Скорость ветра над речной акваторией шириной до нескольких километров (нижнее течение Лены, Енисея, Оби) достигает 20 м/с, вызывая образование волн высотой до 2,5–3 м (при наличии островов – 1,0–1,5 м). Это способствует активизации размыва наветренных берегов до двух раз по сравнению с подветренными или нейтральными участками и, соответственно, поступлению в поток дополнительного количества наносов, которые в какой-то мере также переносятся циркуляционными течениями к подветренному берегу. Следствием этого является направленное смещение русла по направлению вектора преобладающих направлений ветров (рис. 1, А).

Во-вторых, ветер в зависимости от его направления по отношению к направлению течения реки вызывает увеличение или снижение поверхностных скоростей потока. При совпадении векторов течения и ветра увеличение скорости приводит к интенсификации размыва песчаных берегов до 1,5 раз: если, например, на средней и нижней Лене такие пойменные яры размываются по 10–15 м в год, то при воздействии ветра их размыв возрастает до 15–20 м/год. Для долины нижней Лены характерно преобладание «верховых» (направленных по течению реки) и «низовых» (против течения) ветров. В первом случае активизируются размывы оголовков островов и берегов на изгибах русла, ориентированных навстречу ветру и вверх по течению. Этому благоприятствует абразионный эффект, связанный с ветровым волнением. При низовых ветрах этого не происходит, так как в ухвостьях островов обычно формируются косы, предохраняющие их от размыва [12], но встречный ветер способствует еще большему замедлению течения, что, в свою очередь, благоприятствует активизации аккумуляции наносов в узлах слияния рукавов.

Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология
Чалов Р.С.

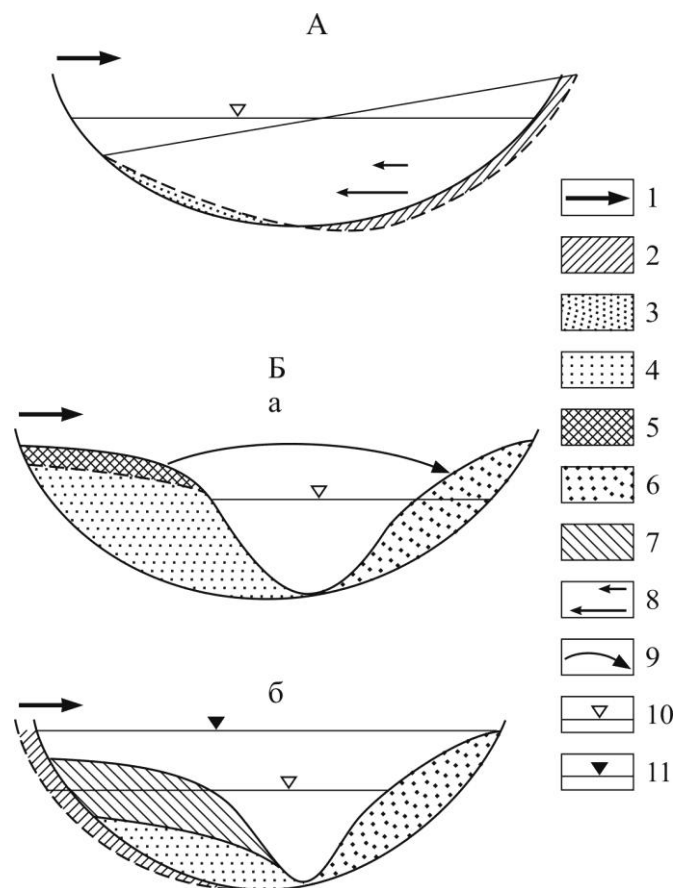


Рис. 1. Схема воздействия ветра на направление смещения русла:

А – вследствие поперечных перекосов водной поверхности; Б – при дефляции обсыхающих прирусловых отмелей и переноса песка к наветренному берегу. 1 – направление господствующих сильных ветров; 2 – размыв берега; 3 – накопление наносов, приносимых течениями; 4 – прирусловая отмель; 5 – перевеваемый материал отмели; 6 – аккумуляция перевеваемых песков; 7 – размывтая часть отмели из-за возникающего дефицита наносов; 8 – направление циркуляционных течений; 9 – направление эолового переноса песка; 10, 11 – уровни воды в межень и половодье соответственно

Fig. 1. The effect of wind on the direction of the channel displacement:

А – due to transverse distortions of the water surface; Б – during the deflation of drying riverbanks and the transfer of sand to the windward coast. 1 – the direction of prevailing strong winds; 2 – erosion of the coast; 3 – accumulation of sediments brought by currents; 4 – near-channel shallow; 5 – windrowed material of the shoal; 6 – accumulation of blown sands; 7 – the part of the shoal eroded due to the deficit of sediments; 8 – the direction of circulation currents; 9 – the direction of the eolian transport of sand; 10, 11 – water levels in low water and high water, respectively

При разнонаправленных векторах течения и ветра поверхностные скорости потока снижаются; соответственно, снижается интенсивность размыва берегов. По наблюдениям на Северной Двине, Оби и Лене скорости размыва уменьшаются до 1,5 раз: при размыве в 10 м/год без влияния ветра при прочих равных условиях он сокращается до 6–7 м/год.

Таким образом, ветер в формировании русла сказывается через его влияние на динамику потока: нагоны и сгоны в устьевых областях, поперечные перекосы водной поверхности при поперечном направлении ветра, повышение ее отметок у наветренных берегов и оголовков островов при «верховых» ветрах; возникновение абразионного эффекта при развитии ветрового волнения.

Эффект воздействия эолового фактора на русловые процессы, в том числе геоморфологический, сказывается также в связи с развеванием (дефляцией) поверхности песчаных прирусловых отмелей, обсыхающих в межень. Он проявляется одновременно и в формировании рельефа пойм, и в воздействии ветра на динамику потока и в то же время

может нейтрализовать его и приводить при тех же характеристиках ветрового режима к прямо противоположным последствиям. Дефляция прирусловых отмелей обычно происходит в межень, когда на реках с большим стоком наносов они обсыхают, занимая до 50–70% площади русла в пойменных бровках (на Северной Двине, Лене, верхней Оби). В засушливые периоды песок просыхает на глубину до 20–30 см и при сильных ветрах интенсивно перевевается. При этом разрушаются микро- ультрамикрорельефы грядового рельефа (песчаные волны, песчаная рябь) на их поверхности, если таковые существуют и не закреплены илистой корочкой, которая может образоваться при медленном спаде уровней и очень постепенном выходе отмели из-под воды. Поверхность отмели выравнивается, а следы бывших гряд-микрорельефов (песчаных волн) прослеживаются иногда в виде своеобразных «даек» – верхних частей слоев наиболее тонкого заиленного песка среди косой слоистости, образующейся на подвалье (крутом низовом откосе) таких гряд. При сильных ветрах на открытых прирусловых отмелях возникают настоящие песчаные бури, причем переносимый ветром песок (обычно это сопровождается сильным ветровым волнением на реке) снижает видимость на реке очень сильно (до 50–100 м), в результате чего останавливается движение судов до тех пор, пока не стихнет ветер.

При поперечном направлении по отношению к реке с относительно прямолинейным или разветвленным руслом преобладающих ветров песок с обсохших отмелей переносится в наветренную часть русла, вызывая ее обмеление, а также расположенных здесь рукавов разветвленного русла. Убыль материала с отмелей в подветренной части русла в последующий паводочный период или половодье создает дефицит здесь наносов, создавая благоприятные условия для размыва русла и направленного его смещения навстречу господствующим ветрам (рис. 1, Б).

Подобный процесс – дефляция прирусловых отмелей и эоловый перенос песка поперек реки – был описан на меридиональном участке верхней Оби [1; 2], где он наблюдался в наиболее яркой форме. Здесь река протекает вдоль левого коренного берега, представленного 100-метровым уступом Приобского степного плато, сложенного лессовидными суглинками. Обсыхающие в межень многочисленные отмели (побочни и осередки), возвышающиеся при низких уровнях над водой до 2–3 м и более, при преобладающих и частых сильных штормовых юго-западных ветрах интенсивно развеваются. Этому способствуют возникающие при срыве преобладающих здесь сильных юго-западных ветров со 100-метрового уступа вихри. По данным Н.И. Маккавеева [13], скорость ветра у реки в результате возрастает на 30–50% по сравнению с водораздельными пространствами. К переносимому ветром поперек реки песку с прирусловых отмелей добавляется сдуваемый лессовидный материал с распаханного Приобского степного плато, на котором при штормовых ветрах возникают пыльные бури.

Развевание (дефляция) отмелей и ветровой перенос песчаного материала приводят на Оби к тому, что прирусловые отмели, находящиеся в правобережной части русла, поднимаются над рекой в межень более чем на 3 м, тогда как в левобережной (подветренной, под уступом плато) – не более чем на 1,5 м. Систематическая убыль руслообразующего материала в левой части русла и его аккумуляция в правой сказываются на направлении смещения всего русла влево, в сторону подветренного берега. Кроме того, поступление переносимого ветром песка в правобережные рукава (русло здесь характеризуется односторонними разветвлениями) обуславливает их мелководность, а доля стока в них не превышает 15–20 %, обычно – первых процентов. Вследствие этого эти рукава не получают импульса к развитию даже в тех случаях, когда поток отклоняется от ведущего коренного берега его выступами и мысами в правую припойменную часть русла, к заходу в правобережные рукава. Лишь при сходе катастрофических оползней с левобережного уступа плато, перекрывающих не менее, чем на треть ширину русла, возможно их временное

развитие (такое наблюдалось в 1940–50-е гг., когда произошел сход грандиозного оползня в районе сел Белово и Вяткино и, как следствие, размыв правого рукава, который на 10–15 лет стал даже судоходным).

Вместе с тем переносимый ветром песок с прирусловых отмелей попадает на пойму, где скорость ветра падает в 3–4 раза по сравнению с водной акваторией из-за резкого увеличения шероховатости поверхности, покрытой растительностью, и аккумулируется, формируя прирусловые дюны. Они занимают до 50–100 м приречной полосы поймы, имеют высоту от 3–6 до 10–12 м над ее поверхностью, превышая максимальный уровень воды во время половодья. Под воздействием ветра дюны перемещаются вглубь поймы, захватывая полосу шириной до 200–800 м и протягиваясь вдоль реки, пока она следует вдоль коренного берега и имеет прямолинейные очертания в плане (до нескольких десятков километров [2]). При отходе реки от уступа Приобского плато полоса дюн прерывается, так как ослабевает воздействие ветра, в т.ч. из-за изменения направления течения реки по отношению к вектору ветра. Поэтому на некоторых участках верхней Оби дюны не развиты или встречаются лишь эпизодически только ниже г. Барнаула, где река также проходит вдоль левого коренного берега, но долина её ориентирована широтно, с востока на запад. Здесь дюны приурочены к местам, где плато расчленено крупными балками, вдоль которых образуются ветровые коридоры.

Образование полосы незатопляемых дюн вдоль бровки поймы создает специфические условия взаимодействия пойменного и руслового потоков во время половодья (рис. 2). В пределах коленообразного поворота реки и ее долины у устья р. Чарыша (широтное направление течения сменяется меридиональным) широкая правобережная пойма ниже по течению затопляется во время половодья ещё на широтном отрезке. После поворота реки и далее пойменный поток следует параллельно русловому, отделяясь от него полосой дюн, образующей между ними естественную «дамбу». Там, где река отходит от уступа плато, дюны прерываются, и в русло частично сливаются с поймы осветленные воды (наносы остались на поверхности поймы). Это приводит к увеличению транспортирующей способности потока, увеличению устойчивости русла, изменению его типа (односторонние разветвления сменяются извилистым) с большими глубинами на перекатах.

В нижнем течении Лены (район устья Вилюя) наиболее сильные и регулярные ветры юго-юго-восточного (верховые) и северо-северо-западного (низовые) направлений обуславливают развевание обширных прирусловых отмелей, формирующихся в ухвостьях или перед оголовками островов (река здесь характеризуется сильно разветвленным руслом с многочисленными островами), и побочной у бровок береговой поймы, ориентированных под углом к господствующим ветрам. В результате дюны высотой над поймой от 6 до 12 м, длиной до 20–25 м формируются на оголовках или в ухвостьях островов и на наветренных участках поймы [3].

Формирование эоловых форм рельефа на наветренных участках прирусловой поймы и на островах описано также на средней Оби [8], в дельте Лены (вдоль Оленекской протоки) [4], на нижнем Амуре [7].

На всех реках отмечается тесная связь формирования дюн и дюнных цепей с развитием прирусловых отмелей (побочной, осередков, кос). Смещение их вызывает временные сокращения или прекращение поступления песка на пойму, дюны зарастают и превращаются в эоловую гряду. Образование около наветренного берега нового побочня приводит к формированию новой дюнной цепи. В результате возникает своеобразный гривистый эоловый рельеф, представленный системой из 3–5 дюнных гряд, расположенных уже на разном удалении от современного русла. Эти древние дюны обычно закреплены растительностью, но при активном их освоении под пастбища на их поверхности можно увидеть следы современного развевания.

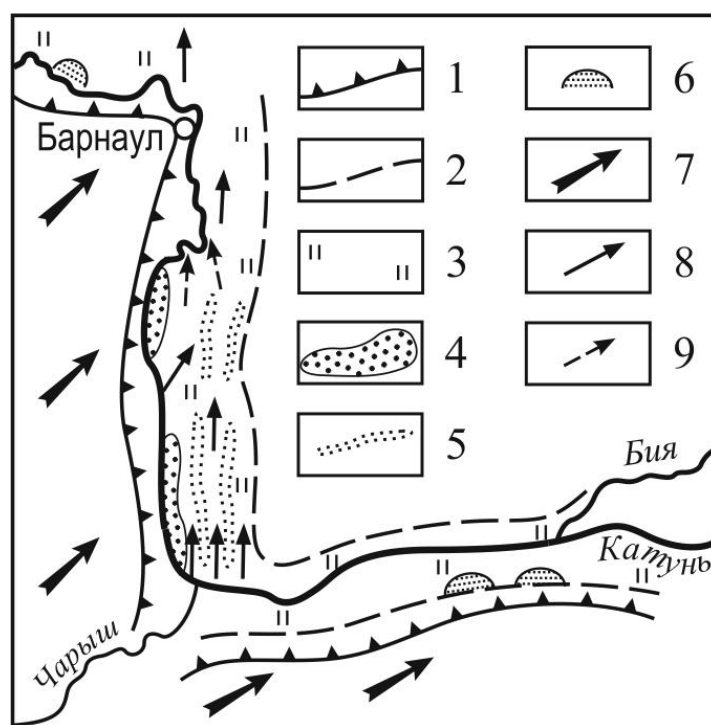


Рис. 2. Распространение дюн на пойме верхней Оби и их соотношение с течениями во время половодья (по Р.С. Чалову [2008] с дополнениями):

1 – уступы предальтайского степного плато; 2 – бровка террас; 3 – пойма; 4 – современные дюны в прирусловой части поймы; 5 – древние дюны в глубине поймы; 6 – дюны в тыловой части поймы;

7 – направление господствующих ветров; 8 – потоки половодья по пойме; 9 – слив воды из поймы в русло

Fig. 2. Distribution of dunes on the floodplain of the upper Ob and their relationship with currents during high water (according to R.S. Chalov [2008] with additions).

1 – ledges of the Pre-Altai steppe plateau; 2 – edge of terraces; 3 – floodplain; 4 – modern dunes in the near-channel part of the floodplain; 5 – ancient dunes in the depths of the floodplain; 6 – dunes in the rear part of the floodplain;

7 – the direction of the prevailing winds; 8 – flood flows along the floodplain; 9 – water draining from the floodplain into the channel

На сегодняшний день (конец XX – первые два десятилетия XXI вв.) наблюдаются гидроклиматические изменения на многих реках; отмечается достаточно активное зарастание прирусловых отмелей. В.В. Сурков [14] это связывает со снижением меженного стока, что обуславливает сокращение длительности и глубины затопления отмелей во время половодья, что, в свою очередь, способствует накоплению на них наилка, развитию растительности и существенному ослаблению или прекращению развевания песчаных отмелей. Соответственно, снизилось ветровое поступление песка на острова и прирусловую пойму, что также привело к их зарастанию. В настоящее время свежие дюны на пойме встречаются редко.

На широкой правобережной пойме меридионального участка верхней Оби (до 15–20 км) обнаруживается две–три полосы древних, сильно сnivelированных дюн, вытянутых полосами вдоль нее. Очевидно, это отражает многовековую (или даже тысячелетнюю) цикличность в развитии эоловых процессов на реке и формировании дюнного рельефа на пойме на фоне направленного смещения русла в сторону левого коренного берега. Эоловый рельеф приручен к правым (считая по течению реки на меридиональном участке) бортам крупных ложбин или обсыхающих в межень пойменных проток, отчетливо дешифрируемых на аэро- и космических снимках.

К сожалению, палеогеографические и палеогидрологические реконструкции для поймы верхней Оби отсутствуют, хотя они могли бы пролить свет на условия формирования эолового рельефа и определить их возраст.

Древние дюны на нижней Лене встречаются среди заболоченных пойменных ландшафтов, образуя среди них «островки», покрытые сосновыми борами среди лиственничной тайги.

На широтном участке верхней Оби (слияние Бии и Катунь – устье Чарыша) развеваются пески на надпойменной террасе между поймой и уступом плато. Отдельные песчаные гряды, вытянутые вдоль господствующего направления ветра, переходят с террасы на пойму, пересекая изогнутые в плане формы гривистого пойменного рельефа. Еще более эффектно подобное явление наблюдается на Амударье, где на левобережную пойму наступают барханы, спускающиеся в процессе перемещения с водораздельного плато [15].

В Якутии песчаная пустыня – тукуланы непосредственно подходят к Лене (выше г. Олекминска) и Вилюю. Уступы высоких террас, на которых распространены тукуланы, подмываются рекой, и барханы в этих случаях являются довольно мощным источником поступления песчаных наносов в русло реки. На р. Лене они – причина мелководности правого рукава в Кыллахском разветвлении русла и периодического обмеления Олекминских перекатов ниже по течению.

Заключение

Эоловые процессы оказывают воздействие на динамику потока, особенно в устьях рек, на больших и крупнейших реках, на перераспределение наносов между обсохшими отмелями и руслом, являются источником поступления в реки дополнительного их количества, обмеление наветренных частей русла и его рукавов, расположенных здесь, под влиянием развевания в межень обсохших прирусловых отмелей. Они формируют дюнный рельеф на пойме, что, в свою очередь, сказывается не только на взаимодействии пойменного и руслового потоков, но и, соответственно, на процессах руслоформирования. Несмотря на относительную второстепенность влияния эолового фактора, его влияние на русловые процессы в определенных условиях следует учитывать при выполнении дноуглубительных работ по трассе судовых ходов и проведении водохозяйственных мероприятий (размещении водозаборов и водовыпусков и т.д.).

Список источников

1. Маккавеев Н.И., Чалов Р.С. О развитии рельефа поверхности речных террас и признаки глубинной эрозии на примере верхней Оби // Изв. АН СССР. Сер. Географ. 1964. №4. С. 120–125.
2. Маккавеев Н.И., Сахарова Е.Н., Чалов Р.С. Современные эоловые процессы в долине верхней Оби // Вестник Московского университета. Сер. 5. География. 1966. № 2. С. 49–53.
3. Борсук О.А., Горнак А.А., Кирик О.М., Чалов Р.С. Эоловые процессы в долине р. Лены // Бюл. МОИП. Отд. геологич. 1975. № 2. С. 151–152.
4. Кортаев В.Н., Михайлов В.Н., Бабич Д.Б., Заец Г.М., Богомолов А.Л. Гидролого-морфологические процессы, динамика гидрографической сети и русловые деформации в дельте р. Лены // Земельные и водные ресурсы: противоэрозионная защита и регулирование русел. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1990. С. 120–144.
5. Нижняя Яна: устьевые и русловые процессы. М.: ГЕОС, 1998. 212 с.
6. Бабич Д.Б., Кортаев В.Н., Магрицкий Д.В., Михайлов В.Н. Нижняя Индигирка: устьевые и русловые процессы. М.: ГЕОС, 2001. 202 с.
7. Махинов А.Н. Эоловые формы рельефа в пойме реки Амур // Геоморфология. 2017. № 2. С. 52–62.
8. Земцов А.А., Бураков Д.А. Современные геоморфологические процессы в центральной части Западно-Сибирской равнины // Проблемы геоморфологии и неотектоники платформенных областей Сибири. Новосибирск: Наука, 1970. С. 87–99.

9. Михайлов В.Н. Динамика потока и русла в неприливых устьях рек // Тр. ГОИН. Вып. 102. М.: МО «Гидрометеиздат», 1971. 260 с.
10. Водные пути бассейна Лены. М.: МИКИС, 1995. 600 с.
11. Русловые процессы и водные пути на реках Обского бассейна. Новосибирск: РИПЭЛ плюс, 2001. 300 с.
12. Чалов Р.С. Русловедение: теория, география, практика. Т. 1. Русловые процессы: факторы, механизмы, формы проявления и условия формирования речных русел. М.: Изд-во ЛКИ, 2008. 608 с.
13. Маккавеев Н.И. Русло реки и эрозия в ее бассейне. М.: Изд-во АН СССР, 1955. 347 с.
14. Чалов Р.С., Сурков В.В., Жмыхова Т.В. Прирусловые отмели как формы руслового рельефа, промежуточные между меженным руслом и поймой реки // Геоморфология. 2016. № 1 С. 18–29.
15. Беркович К.М., Лодина Р.В., Чалов Р.С. Твердый сток и закономерности русловых деформаций в верхнем течении Амударьи // Эрозия почв и русловые процессы. Вып. 3. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1973. С. 241–262.

References

1. Makkaveev, N.I. and Chalov, R.S. (1964), About the development of the surface relief of river terraces and signs of verticle erosion on the example of the Upper Ob' River, *Izv. RAN. Ser. geograf.*, no 4, pp. 120–125.
2. Makkaveev, N.I., Saharova, E.I., Chalov, R.S. (1966), Recent eolian processes in the Upper Ob' River valley, *Vest. Mosk. un-ta. Ser. 5. Geografiya*, no 2, pp. 49–53.
3. Borsuk, O.A., Gornak, A.A., Kirir, O.M., Chalov, R.S. (1975), Eolian processes in the Lena River valley, *Byull. MOIP. Otd. geologich.*, no 2, pp. 151–152.
4. Korotaev, V.N., Mihailov, V.N., Babich, D.B., Zaec, G.M., Bogjmkjv, A.L. (1990), Hydrological and morphological processes of the hydrographic network dynamics and channel changes in the Lena River delta, *Zemelnye i vodnye resursy: protivooerozionnaya zashchita i regulirivanie rusel*, pp. 120–144.
5. *Nizhnyaya Yana: ustevye i ruslovye processy* [The Lower Yana River: channel and estuarian processes] (1998), Izd. GEOS, Moscow, Russia.
6. Babich, D.B., Korotaev, V.N., Magrickii, D.V. (2001), *Nizhneyey Indigirka: ustevye i ruslovye processy* [The Lower Indigirka River: channel and estuarian processes] Izd. GEOS, Moscow, Russia.
7. Mahinov, A.N. (2017), Eolian landforms in the Amur River floodplain., *Geomorfologiya*, no 2, pp. 52–62.
8. Zemcov, A.A. and Burakov, D.A. (1970), Recent geomorphological processes in the central part of the West Siberian Plain, *Problemy geomorfologii i neotektoniki platformennyh oblasnei Sibiri*, pp. 87–99.
9. Mihailov, V.N. (1971), *Linamika potoka i rusla v neprilivnyh ustyah rek* [Water flow and channel dynamics in non-tidal river estuaries], Izd. Gidrometeoizdat, Leningrad, Russia.
10. *Vodnye puti basseina Leny* [Waterways of the Lena River basin] (1995), Izd. MIKIS, Moscow, Russia.
11. *Ruslovye processy i vodnye puti na rekah Obskogo basseina* [Channel processes and waterways on the rivers of the Ob' River basin] (2001), Izd. RIPEL plyus, Novosibirsk, Russia.
12. Chalov, R.S. (2008), *Ruslovedenie: teoriya, gtoografiya, praktika. T. 1. Ruslovye process: factory, mehanizme, formyproyavleniya i usloviya formirovaqniya rechnyh rusel* [River channel Science: theory, geography, practice. Vol. 1. Channel processes: factors, mechanisms, forms of manifestation and formation conditions of river channels], Izd. LKI, Moscow, Russia.

13. Makkaveev, N.I. (1955), *Ruslo reki i eroziya v ee bassejne* [The river and erosion in its basin], Izd. AN SSSR, Moscow, Russia.

14. Chalov, R.S., Surkov, V.V., Zhmyhova, T.V. (2017), Channel side-bars as forms of channel relief, intermediate between low-water channel and river floodplain, *Geomorfologiya*, no 2, pp. 18–29.

15. Berkovich, K.M., Lodina, R.V., Chalov, R.S. (1973), Tvrdyi stok i zakonomernosti ruslovyh deformacii v verhnem techenii Amudari [Sediment flow and channel changes patterns in the High Amudarya River] *Eroziya pochv i ruslovye process*, vol.3, pp. 241–262.

Статья поступила в редакцию: 20.03.22; одобрена после рецензирования: 08.04.22; принята к опубликованию: 07.06.22.

The article was submitted: 20 March 2022; approved after review: 08 April 2022; accepted for publication: 7 June 2022.

Информация об авторе

Information about the author

Роман Сергеевич Чалов

д.г.н., профессор кафедры гидрологии суши, гл. научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет;

119991, Россия, Москва, Ленинские горы, 1;

Roman S. Chalov

Doctor of Geographical Sciences, Professor, Head of the Makkaveev Laboratory of Soil Erosion and Channel Processes, Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University;

1, Leninskie Gory, Moscow, 119991, Russia

e-mail: rschalov@mail.ru