

## ВЛИЯНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГРУНТОВ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ РУСЛОВЫХ ДЕФОРМАЦИЙ В СРЕДНЕМ ТЕЧЕНИИ Р. ДЕСНЫ

Русловые процессы, как известно, проявляются в непрерывно происходящих изменениях морфологического строения русла, обусловленных его взаимодействием с потоком. Активным звеном в этом взаимодействии выступает водный поток. При этом, “существующие формы берегов и дна направляют движение струй потока...” [1] и это направление тем существеннее, чем прочнее грунты, слагающие берега. Пассивность грунтов, как фактора руслоформирования, не обозначает их меньшую значимость в русловом процессе. Учет взаимного влияния потока и русла обеспечивает максимально возможную объективную оценку относительной устойчивости последнего.

Влияние обоих факторов на характер и интенсивность проявления русловых процессов позволяет оценить коэффициенты относительной устойчивости русла, представляющие собой соотношение значений благоприятствующих (гидравлические характеристики потока) и препятствующих (свойства грунтов, слагающих его ложе) размыву. К первой группе относятся: уклон, расход воды, глубина, ширина русла. Использование этих показателей достаточно обосновано, хотя и ведутся дискуссии относительно выбора и метода расчета характеристик, например, определения руслоформирующих расходов [2–5].

За показатель, препятствующий размыву русла В.М. Лохтин предложил принимать средний геометрический размер частиц ( $d$ , мм) [6]. На основании этого показателя выведено большинство коэффициентов относительной устойчивости русла [2, 6–9]. С этой точки зрения при одинаковых уклонах, реки с меньшим диаметром частиц, слагающих ложе потока, являются менее устойчивыми. Реально величина силы сцепления находится в обратной зависимости от размера частиц, так как она пропорциональна суммарной площади поверхности частиц, которая возрастает по мере их дробления. Например, для размыва грунта, сложенного фракцией 0.001 мм, требуются скорости течения около 1.3 м/с, такие же, как и для размыва галечника, крупностью 15 мм [10].

Р.С. Чалов отмечает, что большинство подходов к оценке взаимодействия потока и русла исходят из посылки, что русло формируется в рыхлых, несвязных, в основном аллювиальных и им подобных отложениях [11]. В итоге при изучении форм проявления русловых деформаций на реках потока, формирующие русла в связных пластичных и тем более скальных грунтах, выпадают из сферы исследований. При оценке скорости смещения берегов на локальном уровне необходимо учитывать, что “несвязные отложения” характеризуются определенным набором прочностных свойств, обуславливающих характер и интенсивность русловых деформаций. Безусловно, учет всего многообразия свойств невозможен, либо связан с созданием слишком сложной модели, не рациональной для использования. Однако предлагаемый в качестве основного показателя препятствующего размыву диаметр частиц удобен и допустим при оценке относительной устойчивости русла в региональном плане. На локальном уровне данный показатель является не репрезентативным и не позволяет учесть прочностные свойства руслоформирующих грунтов.

Цель нашего исследования – оценка степени влияния прочностных характеристик пойменных отложений на интенсивность русловых деформаций. Потенциальная устойчивость к размыву грунтов берегового откоса разного литологического строения определялась показателем сопротивления размыву ( $R$ , Н).

В основу метода определения  $R$  положен принцип размыва грунтов свободной компактной струей воды определенной мощности [12, 13].

При испытании грунтов естественного сложения достаточная скорость размыва ( $V_p > 0.001$  м/с) определялась предварительными изысканиями, по результатам которых подбиралось необходимое рабочее давление в насадке ( $h_p$ ). Допустимая глубина размыва определяется условием сохранения компактности струи. Для незатопленной струи ее принимают равной 0.120 м.

Сопротивление размыву выражается отношением мощности размывающей струи к скорости размыва:

$$R = N/V_p = Nt_p/l_p,$$

где  $R$  – сопротивление размыву грунтов, Н (Ньютон);  $N$  – мощность струи на выходе из насадки, Вт (ватт);  $V_p$  – средняя скорость размыва, м/с;  $t_p$  – время размыва, с;  $l_p$  – глубина (длина) размыва, м.

Для оценки степени влияния прочностных характеристик пойменных отложений на интенсивность смещения русел рек по этому методу, были проведены исследования р. Десны в среднем течении (территория Брянской области), общей протяженностью 320 км.

В границах области долина Десны имеет тектонически обусловленный коленообразный рисунок. На отрезке г. Жуковка – г. Брянск долина Десны приурочена к Жуковскому прогибу, заложившемуся по субширотному разлому г. Карачев – г. Рославль. Севернее г. Жуковки долина следует по Снопотьской депрессии, а ниже Брянска – заложена по Деснинскому прогибу. Поверхность прогиба осложнена поперечными линейными структурами новейшего заложения, к пересечениям которых приурочены крупные расширения долины, до 30–40 км, придающие ей четковидную форму – Свенская (р. Снежить – г. Выгоничи), Знобь-Новгородская (ниже по течению р. Неруссы) ванны [14]. Тектоническое строение территории во многом обуславливает распространение морфодинамических типов русла: прямолинейное – приурочено к тектоническим разломам; разветвленное – к областям интенсивного опускания (Знобь-Новгородская ванна); извилистое – является основным морфодинамическим типом широкопойменного русла Десны.

В пределах исследуемого отрезка долина имеет широкую пойму, нередко в 30–40 раз превышающую ширину русла и достигающую на некоторых поперечниках 4–5 км. Высота поймы изменяется в пределах 1.5–4.0 м над меженным урезом реки и в целом нарастает вниз по течению. Закономерность нарушается при пересечении рекой локальных тектонических структур. Пойма сложена супесчано-суглинистыми породами, местами песчаными. Мощность пойменного аллювия нормальная, на отдельных отрезках несколько выше нормы и составляет на Владимирском створе (устье р. Габы – устье р. Сеши) 7–10 м, на Брянском (г. Брянск) – 12 м, ниже Брянска – возрастает до 15 м [14]. Это обуславливает свободные условия развития русловых деформаций и формирование меандрирующего широкопойменного русла, разделенного относительно прямолинейными отрезками, расположенными, в основном, при подходе реки к коренным склонам долины.

Средний многолетний объем стока в р. Десне на нижнем (в пределах области) створе (г/п Разлеты) равен  $4.7 \text{ км}^3$ . По отдельным годам он колеблется от 2.8 до  $7.7 \text{ км}^3$ . До постройки в 1982 г. Десногорского водохранилища Десна характеризовалась слабой внутригодовой зарегулированностью стока, расходы изменялись от межени к половодью в 20–25 раз; после введения водохранилища в эксплуатацию – в 6–7 раз.

Среднегодовые многолетние величины расхода воды Десны за последние десятилетия (1988–2005 гг.) составляют  $89 \text{ м}^3/\text{с}$  (г/п Брянск). Доля стока весеннего половодья возрастает с 46% в маловодные годы до 60–70% в многоводные. В летне-осенний период проходит от 21 до 30% стока, в зимний – 10–15%. В маловодные годы доли стока за лето, осень и зиму примерно одинаковы и составляют вместе около 50% годового.

Для определения прочностных характеристик пойменных отложений и оценки их влияния на скорость смещения русла Десны нами заложен 31 ключевой участок на отрезке от устья р. Габы до южной границы Брянской области.

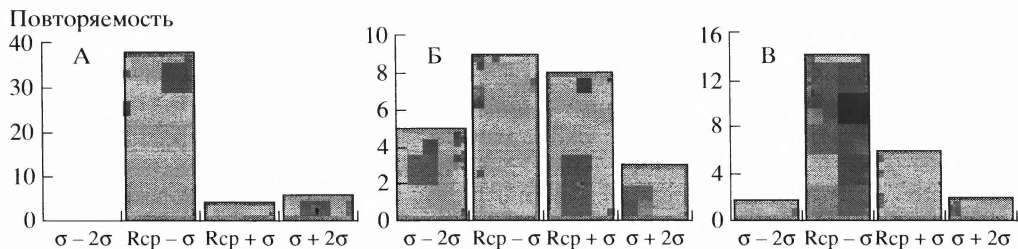


Рис. 1. Распределение значений сопротивления размыву ( $R_{cp}$ , H) по основным разновидностям грунтов  
Грунты: А – песчаные, Б – супесчаные, В – суглинистые

Ключевые участки предварительно выделялись по крупномасштабным топографическим картам и космическим снимкам 2004–2005 гг. В качестве ключевых участков выбирались свободные и адаптированные излучины разного морфологического типа, и прямолинейные отрезки, являющиеся характерными для значительного отрезка русла. Расстояние между ключевыми участками изменяется от 3 до 20 км.

На ключевых участках осуществлялись измерения ширины, глубины потока, скорости течения, вычислялся расход воды, описывались разрезы пойменных и террасных отложений, определялось сопротивление размыву руслоформирующих грунтов.

Пойменные разрезы закладывались в центральных частях фронтов размыва (привершинная часть излучины или ее нижнее крыло) на вогнутом подмываемом берегу. На размываемых участках террас исследовались отложения ниже среднего уровня половодья. При описании слоев отмечались существенные для выбранной методики характеристики: гранулометрический состав материала, плотность, цементированность, развитость корневой системы растений.

Цементированность пойменных отложений в бассейне Средней Десны в значительной степени обусловлена высокой концентрацией железа в природных водах. В грунтах практически повсеместно присутствуют цементированные гидроксидами железа агрегаты. При описании ожелезненных горизонтов отмечался средний размер агрегатов, их пористость. Почвенно-растительный слой выделялся аналогично гумусовому горизонту в почвоведении [15].

Минимальная мощность выделяемых слоев 0.10 м. Отложения с тонкой слоистостью рассматривались как один слой. Из каждого слоя отбирались образцы для определения гранулометрического состава методом пипетки в варианте Качинского [16].

Для оценки прочностных свойств руслообразующих грунтов выполнено 186 определений сопротивления размыву в трех – и более кратной повторности. Всего произведено 650 размывов. Изменение значений  $R$  в зависимости от гранулометрического состава, плотности сложения, цементированности, развитости корневой системы растений весьма значительно.

По результатам гранулометрического анализа выделены следующие разновидности грунтов: рыхло- и связнопесчаные, супесчаные, легко-, средне- и тяжелосуглинистые, легкоглинистые. Характер распределения значений сопротивления размыву по группам грунтов ( $R_{cp}$ ) отличается от нормального. Во всех группах максимум распределения смещен влево от среднего значения. Отмечается незначительная и положительная по своему характеру асимметрия – коэффициенты асимметрии  $A_s$  составляют 0.29, 0.08 и 0.26, соответственно (рис. 1). Несмотря на высокие показатели коэффициента вариации (пески – 76%, супеси – 57% и суглинки – 60%), свидетельствующего о существенной неоднородности грунтов, более 2/3 значений принадлежат диапазону от  $-\sigma$  до  $+\sigma$  ( $\sigma$  – среднее квадратическое отклонение вариационного признака). У песков к указанному интервалу относятся 82% значений; у супесей – 66%; у суглинков – 80%. Следовательно, показатель  $R_{cp}$  является приемлемым для выявления общей связи между прочностными свой-

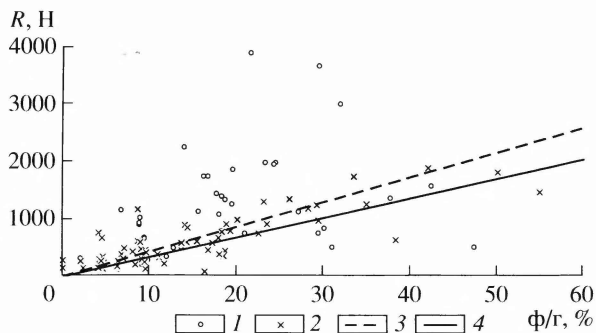


Рис. 2. Зависимость сопротивления руслоформирующих грунтов размыву ( $R$ , Н) от содержания физической глины (ф/г, %) 1 – все исследуемые слои; 2 – без ожеженных и уплотненных слоев; линейные зависимости: 3 – все исследуемые слои, 4 – без ожеженных и уплотненных слоев

ложения физической глины и сопротивлением размыву составил 0.58 – связь умеренная [17]. Невысокое значение коэффициента, по нашему мнению, обусловлено ожежением и высокой плотностью сложения отдельных слоев [18]. Для оценки влияния этих факторов уплотненные (6 слоев, 6%) и ожеженные (37 слоев, 30%) горизонты были исключены из анализа. Без учета этих слоев значение коэффициента корреляции увеличилось до 0.79, что говорит о сильной связи (рис. 2). Влияние, ожежения и уплотнения определяет значительный разброс величины сопротивления грунтов размыву у выделенных по гранулометрическому составу групп (табл. 1). Исключение ожеженных и уплотненных горизонтов приводит к снижению  $R_{\max}$  и вариационного размаха более чем в 2 раза.

Наиболее существенно ожежение сказывается на прочности связнопесчаных и супесчаных грунтов, у которых она возрастает в 10 раз. В песчаных грунтах ожежение проявляется в образовании агрегатов размером от 4 до 20 см, которые препятствуют активному размыву пойменных отложений. В суглинистых грунтах с высоким сопротивлением размыву ожежение увеличивает прочность в 5–6 раз. Здесь не образуются крупных агрегатов, их размер сопоставим с частицами крупного песка, которые выносятся при размыве.

Значение сопротивления размыву в группе суглинистых грунтов уменьшается от легко- к тяжелосуглинистым (от 1582 до 1271Н). Вероятно, это обусловлено значительным ожежением большинства (55%) легкосуглинистых грунтов, ожеженные тяжелосуглинистые отложения встречаются реже (33%). Количество ожеженных горизонтов

ствами грунтов и их гранулометрическим составом. Среднее значение  $R_{\text{cp}}$  увеличивается от песчаных отложений к суглинистым: песчаные  $R_{\text{cp}} - 324\text{Н}$  (рыхлопесчаные – 236Н, связнопесчаные – 423Н); супесчаные  $R_{\text{cp}} - 888\text{Н}$ ; суглинистые  $R_{\text{cp}} - 1487\text{Н}$ . Глинистые грунты для поймы Десны не характерны.

Для оценки степени связи между сопротивлением грунтов размыву и гранулометрическим составом пойменных отложений использовалось процентное соотношение групп фракций физической глины (частицы менее 0.01 мм) и физического песка (частицы более 0.01 мм).

Коэффициент корреляции между содержанием в пойменных от-

Таблица 1

**Изменение вариационного размаха показателя сопротивления размыву по группам руслоформирующих грунтов**

Слой по механическому составу	$R_{\min}$	$R_{\max}$ (все слои)	$R_{\max}$ (без ожеженных и плотных слоев)	Вариационный размах (все слои/без ожеженных и плотных слоев)
Рыхлопесчаные	110	774	342	664/232
Связнопесчаные	116	1174	675	1058/559
Супесчаные	229	2269	905	2040/676
Легкосуглинистые	760	3913	1365	3153/605
Среднесуглинистые	520	3024	1755	2504/1235

в целом увеличивается от легких грунтов к тяжелым: у песчаных отложений – 34% исследуемых слоев ожелезнены; у супесчаных – 35%; у суглинистых – 64%.

Значительное влияние на сопротивление размыву оказывает степень развития корневой системы травянистой растительности. Почвенно-растительный слой (ПРС) имеет высокий показатель вариационного размаха 2787Н (от 219 до 3006Н). Между сопротивлением размыву ПРС и нижележащего слоя наблюдается существенная корреляционная зависимость (0.66). Показатель  $R_{\text{ср}}$  ПРС и ниже следующего второго слоя отличается в среднем в 2.2 раза (максимум в 9.7, минимум в 1.5 раза). Учитывая, что гранулометрический состав ПРС и нижележащего слоя в большинстве случаев совпадают, мы предполагаем, что именно развитость корневой системы оказывает решающее влияние на высокое ( $R_{\text{ср}} = 1072\text{Н}$ ) сопротивление размыву и значительный вариационный размах ПРС.

Характер переслаивания, степень участия того или иного грунта в сложении поймы различны на каждом ключевом участке. Для оценки устойчивости русла на локальном уровне определялось сопротивление размыву по створам ( $R_{\text{ср}}$ ), как средневзвешенное по мощности слоев. Величина сопротивления размыву пойменных отложений не указывает однозначно на вероятную интенсивность отступления берегов, поскольку расход воды на отрезках течения со схожим строением поймы отличается максимально в 10 раз.

Степень влияния сопротивления размыву пойменных отложений на относительную устойчивость русла оценивается по интенсивности русловых деформаций на участках с разным расходом и схожим строением поймы. Интенсивность деформаций оценивалась по скорости изменения положения русла на разновременных топографических картах и космических снимках (за период 1984–2005 гг.). Измерялись следующие характеристики: скорости поперечного и продольного смещения русла; морфометрические показатели излучин (длина по руслу  $l$ , шаг  $L$ , стрела прогиба  $h$ ); рассчитывался безразмерный показатель – степень развитости  $l/L$ , оценивалось во сколько раз он изменился –  $\Delta l/L$ . На основании морфометрических параметров определялся морфологический тип излучин: сегментные (пологие, развитые, крутые), синусоидальные, пальцеобразные и омегавидные [19].

Коэффициенты парной корреляции между изменением показателя степени развитости излучин и сопротивлением размыву руслоформирующих грунтов и изменением показателя степени развитости и расходом воды составляют 0.11 и 0.12 соответственно. Отсутствие корреляционной зависимости не отрицает влияния ведущих факторов руслоформирования (энергии потока, прочностных свойств грунтов, существующих особенностей русла) на интенсивность отступления берегов. Вероятно, на локальном уровне в сравнительно однородных условиях сочетание факторов имеет стохастический характер. Значительная протяженность объекта исследования (320 км) обуславливает существенные различия в строении поймы, изменениях мощности потока, вариаций морфодинамических типов русла.

Для оценки степени влияния типа руслоформирующих грунтов и их прочностных свойств на скорость размыва берегов, пойменные разрезы были разделены на группы с одинаковым гранулометрическим составом: песчаные, песчано-супесчаные, суглинистые (на суглинистые грунты приходится более 2/3 разреза), и сложные (чередуются пески, супеси и суглинки). Закономерности в изменении мехсостава пойменных отложений при движении вниз по течению не наблюдается. Часто смежные излучины сложены грунтами разного гранулометрического состава. Вторая составляющая руслового процесса – расход – изменяется постепенно, что обуславливает относительное постоянство мощности потока на значительных по протяженности отрезках русла, сложенных разными грунтами. Это позволяет разбить русло средней Десны на три отрезка, в пределах которых расход изменяется незначительно (в 1.5–2.5 раза): 1) устье р. Габья – устье р. Болвы; 2) устье р. Болвы – устье р. Неруссы; 3) устье р. Неруссы – граница области (рис. 3). Выделенные участки являются однородными по морфогенетическим и морфодинамическим характеристикам.

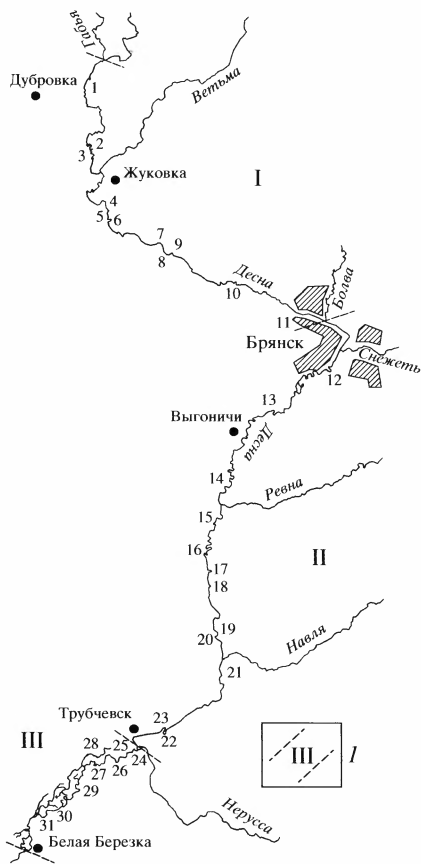


Рис. 3. Расположение створов (1–31) на исследуемом отрезке Десны (среднее течение) и границы выделенных участков (I–III)  
I – границы выделенных участков

1. От устья р. Габья до устья р. Болвы (г. Брянск) Десна имеет широкопойменное извилистое (реже прямолинейное) русло. Свободные условия развития русловых деформаций нарушаются при подходе реки то к правому, то к левому склонам долины, где формируются адаптированные (вынужденные и вписанные) излучины разделенные вставками прямолинейного русла. Доля участков адаптированного русла долины по отношению к свободному невелика – около 30%.

2. От устья р. Болвы до устья р. Неруссы широкопойменное русло Десны характеризуется чередованием свободных излучин с относительно прямолинейными, неразветвленными отрезками с односторонней поймой (вдоль правого коренного берега) и адаптированных (вынужденных и вписанных) излучин. Доля адаптированного русла на данном отрезке возрастает до 45%.

На первых двух отрезках вынужденные и вписанные излучины широкопойменного русла встречаются достаточно часто в виде одиночных форм русла, морфологически однородных участков они не образуют.

3. От устья р. Неруссы до границы Брянской области русло Десны разбивается на рукава формируя пойменную многорукавность.

На отрезке от устья р. Габьи до устья р. Болвы (створы № 1–11) межennyй расход увеличивается в 1.7 раза (от 20.9 до 36.5 м/с). Прочностные свойства изучались для пойменных отложений свободных излучин. Продольные скорости отступления изменяются в 7 раз (от 0.5 до 3.5 м/год), поперечные – в 5 раз (от 0.5 до 2.5 м/год). Это в значительной мере обусловлено широким диапазоном изменения руслоформирующих грунтов по гранулометрическому составу (от песчаных до суглинистых) и их прочностным свойствам (сопротивление размыву изменяется в 7.7 раз, от 330 до 2557Н) (табл. 2).

Минимальная скорость отступления берегов (в среднем 1.5 м/год) наблюдается на участках поймы, сложенных суглинистыми грунтами (створы № 1–3), для которых характерны высокие показатели сопротивления размыву (от 788 до 2557Н).

Скорость смещения увеличивается на участках поймы сложенных песками (створы № 4, 6 и 9): продольное смещение достигает 3.5 м/год; поперечное – 2.5 м/год. Высокая интенсивность русловых деформаций обусловлена низким сопротивлением размыву песков (330 до 402Н).

Русло, блуждающее в пойменных отложениях сложного гранулометрического состава, характеризуется увеличением скорости отступления берегов (продольных – с 1.0 до 3.5 м/год; поперечных – с 0.5 до 2.5 м/год) в соответствии с уменьшением их прочностных характеристик (2004–827Н). Закономерность нарушается в створе № 11, расположенном в черте г. Брянска, где проведение мероприятий по сдерживанию русловых деформаций (постройка берегоукрепительных сооружений, лесопосадка) “гасят” возможные скорости размывов берегов. Интенсивность горизонтальных деформаций Десны в Брянске, при сопротивлении размыву грунтов 530Н, составляет менее 0.5 м/год (поперечное смещение) и 1.5 м/год (продольное).

## Характеристика ключевых участков

№ точки	Тип грунта по механическому составу	$R_{ст}$ , Н	$Q$ , м/с	Увеличение $\Delta l/L$ , раз	Смещение русла (1984–2005 гг.), м/год		Геолого-геоморфологический тип русла
					продольное	поперечное	
Устье р. Габы–устье р. Болвы							
1	суглинистый	2557	20.9	1.04	1.5	<0.5	свободная излучина
2	суглинистый	788	22.8	1.16	1.5–2.0	<0.5	свободная излучина
3	суглинистый	1682	22.9	1.12	1.5	2.5	свободная излучина
4	песчаный	330	30.2	1.06	0.5	2.0–2.5	свободная излучина
5	песчано-супесчаный	330	30.4	1.11	2.0–2.5	2.0–2.5	свободная излучина
6	песчаный	346	32.1	1.14	2.5–3.0	2.0–2.5	свободная излучина
7	сложный	2004	36	1.07	1.0–1.5	1.0–1.5	свободная излучина
8	сложный	1016	36.2	1.11	2.0–2.5	1.5–2.0	свободная излучина
9	песчаный	402	36.4	2.19	3.0–3.5	2.0–2.5	свободная излучина
10	сложный	827	36.8	1.25	3.0–3.5	2.0–2.5	свободная излучина
11	сложный	530	36.5	1.01	1.5	<0.5	свободная излучина окружена адаптированными
Устье р. Болвы–устье р. Неруссы							
12	сложный	383	45.6	1.01	1.5–2.0	2.0	свободная излучина окружена адаптированными
13	сложный	855	47	1.30	2.5–3.0	1.5–2.0	свободная излучина
14	суглинистый	770	53.7	1.11	2.5–3.0	1.5–2.0	свободная излучина
15	сложный	1853	58.3	1.29	3.0–3.5	1.5–2.0	свободная излучина, смежная излучина адаптированная
16	песчано-супесчаный	399	58.5	1.06	1.0	1.5–2.0	адаптированная излучина
17	песчано-супесчаный	327	58.5	1.04	3.0–3.5	1.5–2.0	свободная излучина
18	сложный	1082	60.5	–	3.0–3.5	1.5–2.0	прямолинейное русло вдоль коренного склона
19	песчаный	555	61.3	1.05	2.5–3.0	2.0	свободная излучина окружена адаптированными
20	сложный	805	61.9	1.00	3.0–3.5	<1.0	адаптированная излучина
21	песчаный	693	73.3	1.06	2.5–3.0	1.5–2.0	свободная излучина окружена адаптированными
22	песчаный	561	85.3	1.18	2.0–2.5	1.5–2.0	свободная излучина, смежная излучина адаптированная
23	сложный	1267	85.5	1.22	<1.0	≈4.0	адаптированная излучина
Устье р. Неруссы–южная граница области							
24	сложный	920	112.9	1.16	1.0–1.5	1.5–2.0	свободная излучина
25	сложный	615	120.6	1.26	2.0–2.5	2.0–2.5	свободная излучина
26	песчаный	216	123.2	1.27	>3.5	3.5	адаптированная излучина
27	сложный	1046	123.9	1.49	>4.0	1.0	свободная излучина
28	сложный	856	124.9	1.18	>4.0	2.0	свободная излучина
29	суглинистый	1147	49.1	1.34	1.5–2.0	2.5	свободная излучина
30	песчаный	169	91.8	1.20	1.5–2.0	3.0–3.5	адаптированная излучина
31	песчаный	156	92	1.29	1.5–2.0	3.5–4.0	адаптированная излучина

Показатель степени развитости свободных излучин на отрезке от устья р. Габы до устья р. Болвы в среднем изменяется в 1.22 раза. Максимальные изменения характерны для створа № 9, представленного песчаными грунтами (402Н), где показатель  $l/L$  увеличился в 2.19 раза. Последнее – результат сужения шпоры излучины (со скоростью 3.5–4.0 м/год), за счет которого сегментная излучина трансформировалась в пальцеобраз-

ную. Минимальные переформирования русла, менее чем в 1.1 раза, приурочены к участкам русла сложенным суглинистыми (створ № 1) и смешанными грунтами (створ № 7), сопротивление размыву которых превышает 2000Н.

На отрезке от устья р. Болвы до устья р. Неруссы меженный расход увеличивается в 1.9 раза (от 45.6 до 85.5 м/с). Характер и интенсивность русловых деформаций обусловлены чередованием свободных и адаптированных форм широкопойменного русла. Размывы выполнялись для пойменных уступов, сложенных грунтами разного гранулометрического состава (от песчаных до суглинистых), сопротивление размыву которых изменяется в 5.7 раза (от 327 до 1853Н) (табл. 2).

Скорость отступления берегов свободных излучин невелика и незначительно изменяется на протяжении всего исследуемого отрезка. Поперечное смещение составляет 1.5–2.0 м/год, продольное – 1.5–3.5 м/год. Это результат общего смещения русла р. Десны в направлении правого коренного борта долины, что обуславливает высокую долю адаптированных форм русла (45%). Свободные излучины (створы № 12, 15, 19, 21, 22) оказываются “зажатыми” между адаптированными формами русла: вписанными (створ № 16) или вынужденными (створы № 20, 23) излучинами; отрезками прямолинейного русла (створ № 18).

Интенсивность размыва берегов в пределах адаптированных участков изменяется: продольная – от 1.0 до 3.5 м/год (в 3.5 раза), поперечная – от 1.0 до 4.0 м/год (в 4 раза). Значительные скорости смещения обусловлены активной деформацией смежных свободных излучин при относительной стабильности отрезков русла, расположенных вдоль коренного борта долины.

Вписанная омеговидная (створ № 16) и вынужденная пальцеобразная (створ № 23) излучины трансформируются главным образом за счет развития смежных свободных излучин. Последние смещаясь вовлекают в этот процесс верхние крылья вынужденных, что приводит к заваливанию и “вытягиванию” последних, у которых верхние крылья располагаются субпараллельно коренному берегу, но против общего уклона дна долины и общего направления течения.

Продольные скорости размыва берегов в створе № 23 составляют менее 1.0 м/год, а поперечные – около 4.0 м/год. Сопротивление размыву определялось для отложений бечевника коренного берега и составило 1267Н. Интенсивный поперечный размыв является результатом размыва пойменных грунтов в вершине излучины. На створе № 16 значительная высота подмываемой в нижнем крыле песчано-супесчаной террасы (16 м) обуславливает небольшие продольные скорости размыва (около 1.0 м/год) даже при его низкой потенциальной устойчивости (399Н). Продольное смещение, за счет активной деформации смежной расположенной выше свободной излучины, составляет 1.5–2.0 м/год.

В целом на отрезке от устья р. Болвы до устья р. Неруссы преобладает продольное смещение свободных излучин, а также “сжатие” и “заваливание” адаптированных излучин сложной формы (пальцеобразных, омеговидных). Значительная доля адаптированных форм русла определяет невысокие изменения показателя степени развитости (в среднем в 1.12 раза).

На отрезке от устья р. Неруссы до южной границы Брянской области в условиях пойменной многорукавности меженный расход увеличивается в 2.5 раза. Здесь прочностные свойства изучались для пойменных отложений свободных излучин (створы № 24, 25, 27–29) и грунтов песчаных террас вписанных излучин (створы № 26, 30, 31). Низкое сопротивление размыву последних (156–216Н) обуславливает высокую интенсивность русловых деформаций: поперечное смещение – до 4.0 м/год; продольное – более 3.5 м/год (табл. 2).

Пойма свободных излучин сложена отложениями разного мехсостава показатель  $R_{ст}$  которых изменяется менее чем в 2 раза (от 615 до 1147Н). Продольные скорости смещения русла увеличиваются в 4 раза (1.0 до 4.0 м/год), поперечные – в 2.5 раза (от 1.0 до 2.5 м/год).

Высокие прочностные свойства суглинистых грунтов (1147Н, створ № 29) обуславливают относительно небольшие скорости отступления берегов: продольные – 1.5–2.0 м/год, поперечные – 2.5 м/год. Невысокие показатели сопротивления размыву песчаных отложений на створах № 26, 30, 31 (216, 169 и 156Н соответственно) определяют большие поперечные скорости размыва берегов – до 4.0 м/год даже при значительной высоте размываемых песчаных террас (3.5, 5.1 и 7.6 м соответственно).

Показатель степени развитости в среднем изменяется в 1.27 раза. Несмотря на высокое сопротивление размыву (>1000Н) наибольшие трансформации (более чем в 1.3 раза) наблюдаются на свободных излучинах со сложными (створ № 27) и суглинистыми грунтами (створ № 29). Это обусловлено интенсивным сужением шпор излучин (со скоростью 5.0 и 2.5 м/год, соответственно), в результате которого синусоидальные излучины трансформируются в пальцеобразные.

В целом в условиях пойменной многорукавности влияние двух ведущих факторов руслового процесса (прочностных свойств грунтов и мощности потока) на интенсивность переформирования русла прослеживается достаточно четко. Продольные скорости смещения русла возрастают по мере увеличения мощности потока; поперечные – уменьшаются при увеличении прочностных свойств грунтов (сопротивления грунтов размыву). Для других морфодинамических типов подобной четкой зависимости не наблюдается.

На региональном уровне влияние прочностных свойств руслоформирующих грунтов на интенсивность русловых деформаций проявляется в руслах разных морфогенетических типов. На локальном уровне в пределах одного морфогенетического типа различия в прочностных свойствах грунтов могут быть довольно значительные, соответственно, скорости плановых переформирований в разных геолого-геоморфологических условиях существенно отличаются. Показатель сопротивления размыву руслоформирующих грунтов позволяет оценить потенциальную устойчивость береговых склонов размыву на локальном уровне.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Леяльский Н.С.* О речных течениях и формировании речного русла. Тр. 2-го съезда инженеров-гидротехников в 1893 г. СПб.: 1893.
2. *Маккаев Н.И.* Русло реки и эрозия в ее бассейне. М.: Изд-во АН СССР, 1955. 353 с.
3. *Антроповский В.И.* Связь типов руслового процесса с определяющими факторами // Тр. ГГИ. 1970. Вып. 183. С. 70–80.
4. *Чалов Р.С.* Географические исследования русловых процессов. М.: Изд-во МГУ, 1979. 232 с.
5. *Карасев И.Ф.* Руслоформирующие расходы воды // Метеорология и гидрология. 1986. № 8. С. 45–51.
6. *Лохтин В.М.* О механизме речного русла. СПб.: 1897.
7. *Великанов М.А.* Русловой процесс. М.: Госфизматиздат, 1958. 395 с.
8. *Гришанин К.В.* Теория руслового процесса. М.: Транспорт, 1972. 215 с.
9. *Ржаницын Н.А.* Руслоформирующие процессы. Л.: Гидрометеоздат, 1985. 263 с.
10. *Маккаев Н.И.* Сток и русловые процессы. М.: Изд-во МГУ, 1971. 116 с.
11. *Чалов Р.С.* Русловые процессы и географическая среда // Изв. РАН. Сер. геогр. 2005. № 1. С. 42–49.
12. *Бастраков Г.В.* Опыт определения противозерозионной устойчивости земель // Геоморфология. 1975. № 1. С. 23–27.
13. *Бастраков Г.В.* Эрозионная устойчивость рельефа и противозерозионная защита земель. Брянск: Изд-во БГПИ, 1994. 260 с.
14. *Шевченков П.Г.* Геоморфология долины Десны и современные геоморфологические процессы // Долина Десны: природа и природопользование. М.: МФГО СССР, 1990. С. 3–12.
15. *Афанасьева Т.В., Василенко В.И., Терешина Т.В., Шерemet Б.В.* Почвы СССР. М.: Мысль, 1979. 382 с.
16. *Вадюшина А.Ф., Корчагина З.А.* Методы исследования физических свойств почв. М.: Агропромиздат, 1986. 416 с.
17. *Лакин Г.Ф.* Биометрия. М.: Высш. шк., 1990. 349 с.

## THE GROUND HARDNESS IMPACT ON RIVERBED DEFORMATIONS IN THE MIDDLE REACH OF DESNA

E.A. SMIRNOVA, G.V. LOBANOV, G.V. BASTRAKOV

### S u m m a r y

The resistance of river bank ground to erosion (washing) depends on granulometric composition, density, the degree of consolidation, rootage development. The impacts of these factors were evaluated. The riverbed lateral displacement velocity was analyzed as function of channel-fill deposits, morphogenetic, and morphodynamic types of channel, the middle reach of Desna as an example.

УДК 551.432.8(571.1)

© 2009 г. С.В. ШВАРЕВ

## ГОЛОЦЕНОВАЯ АКТИВНОСТЬ РАЗРЫВНЫХ СТРУКТУР ЮГО-ВОСТОКА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ, ЕЕ ПРОЯВЛЕНИЕ В РЕЛЬЕФЕ И СТРОЕНИИ АЛЛЮВИАЛЬНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

Проблема выявления активных тектонических структур в пределах платформенных территорий становится все более актуальной в свете изменения представлений о возможности развития здесь как сейсмических [1], так и несейсмических интенсивных деформаций в ослабленных зонах [2]. При этом выявление разломов в известной степени затруднено “закрытостью” территории и неочевидностью деформаций в новейших отложениях из-за относительно малых амплитуд смещений при незначительном времени формирования толщ и отсутствии надежных временных “маркеров”.

Для установления сети активных нарушений представляется эффективным использование данных дистанционного зондирования в сочетании с геолого-геоморфологическим анализом. Выделяемые при этом линеаментные системы отражают поле современных напряжений, обусловленных планетарными ротационными процессами и в значительной степени определяющее формирование современного рельефа. Регулярные линеаментные системы четко проявляются именно в пределах платформ в связи с тем, что в складчатых сооружениях реализованный потенциал напряжений затушевывает первичные неоднородности. В то же время платформенный чехол, скрывающий складчатый фундамент, вновь проявляет линейные аномалии посредством новейшего и современного экзогенного рельефообразования, сопрягающегося с градиентными зонами геофизических полей на фоне относительного однообразия геологического субстрата.

Такая ситуация весьма характерна для юго-восточной окраины Западной Сибири (рис. 1). Четкие диагональные системы преимущественно северо-восточного и, реже, северо-западного простирания прослеживаются на значительном протяжении в пределах платформенных равнин, “утыкаясь” в палеозойские складчатые сооружения салаирской (Кузнецко-Восточно-Саянской) и герцинских (Салаирско-Ануйско-Чуйской и Томь-Колыванской) складчатых систем [3–5]. Несмотря на отнесение этих нарушений к активным [4–6], их связь с инструментально и исторически фиксируемыми эпицентрами землетрясений территории [7–10] на первый взгляд не обнаруживается.