

# ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ, МЕРЗЛОТОВЕДЕНИЕ И ГРУНТОВЕДЕНИЕ

УДК 556.537(282.247.28)(476)

## Русловые процессы и устойчивость русла реки Неман (в пределах Республики Беларусь)

**Т.А. Мележ**

Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины

246019, Гомель, ул. Советская 104, Республика Беларусь. E-mail: tatyana.melezh@mail.ru

(Статья поступила в редакцию 19 апреля 2022 г.)

Приведена оценка устойчивости русла р. Неман. Автором разработана классификация участков русла по опасности размыва берегов, их типизация по устойчивости и опасности размыва берегов. Установлено, что в настоящее время характер русловых процессов в долине р. Неман неоднороден на различных ее участках и даже на небольших отрезках. На основании этого автором выделены следующие участки: Столбцовский, Любчанский, Мостовский, Гродненский, Средне-Неманский.

Ключевые слова: *река Неман, русловые процессы, размыв берегов, степень опасности, типизация русла.*

DOI: 10.17072/psu.geol.21.2.104

Долина р. Неман и прилегающих территорий в пределах Республики Беларусь характеризуется динамично развивающимися экзодинамическими процессами, которые оказывают непосредственное влияние на инженерно-геологическое строение территории. Её геоморфологические особенности непосредственным образом влияют на интенсивность инженерного освоения территорий.

Целью исследования является проведение оценки устойчивости речного русла Немана, разработка его классификации по степени опасности размыва берегов и типизация по устойчивости и опасности размыва берегов.

В основу работы положены результаты диссертационного исследования.

Размыв берегов – природный процесс, свойственный любой реке. Скорость размыва берегов неоднородна для различных речных русел, она изменяется от долей метра до десятков метров в год, параметры размыва меняются в зависимости от режима реки: от половодья к межени, а также от года к году в зависимости от стадии развития процесса, который возникает, активизируется, затухает, прекращается и вновь возобновляется.

Размывы берегов рек – отражение взаимодействия речного потока, русла реки и по-

стоянных деформаций русла. Одновременно с этим протекает противоположный процесс – аккумуляция аллювиального материала у противоположных берегов. Интенсивность размыва зависит от угла подхода стрежня потока к берегу: чем он больше, тем больше скорость размыва. В прямолинейном русле стрежень потока располагается в его центральной части, к берегам скорость потока снижается, а живое сечение русла имеет параболическую (или близкую к ней) форму (Беркович, 2019). В этих условиях берега не размываются. При искривлении стрежня происходит схождение струй потока возле берега. Здесь образуются положительная волна водной поверхности и местное увеличение скорости потока из-за его сжатия при набегании на берег. Это приводит к размыву берегов и формированию крутого, часто вертикального откоса. Образовавшийся перекоп водной поверхности обуславливает возникновение в потоке циркуляционного течения, донная ветвь которого направлена от размываемого берега (Чалов, 2000).

Изменения условий размывов берегов рек, их активизация и увеличение протяженности зон происходят под влиянием хозяйственной деятельности. Регулирование стока рек во-

дохранилищами, прохождение волн попусков (искусственных сбросов воды) в нижних бьефах сопровождаются 2–3-кратной активизацией размывов берегов ниже плотин. Со временем этот процесс затухает по мере того, как вырабатывается новое соотношение между формой русла и гидравлическими характеристиками потока, но длительность его проявления составляет многие десятилетия. Характерно, что в период массового строительства крупных гидроузлов вероятность активизации размывов берегов в нижних бьефах не предусматривалась: прогнозы русловых деформаций ограничивались оценками размывов дна рек.

Особое место занимают урбанизированные участки рек. Здесь даже при слабых размывах возникает угроза разрушения береговых объектов, усугубляющаяся несогласованностью воздействий на реку как самих инженерных объектов, так и мероприятий по защите берегов от размыва. Во многих городах берегоукрепление производится автономно каждым городским субъектом, часто без проектирования, наиболее дешевым способом. Это дает кратковременный эффект и впоследствии приводит к еще большему обострению ситуации.

Неоднородность геологического строения берегов – причина не только неодинаковых темпов их отступания, но и возникновения выступающих в русло мысов.

Пойменные берега и откосы низких террас подмываются потоком в половодья или дождевыми паводками практически по всей площади береговых уступов. При этом интенсивность размыва зависит от соотношения фактической скорости потока и размывающей для грунтов, слагающих берега. При низких меженных уровнях воды длина фронта размыва сокращается, ограничиваясь участками, где стрежень потока прижимается к берегу. В другие фазы водного режима у основания уступа формируется бичевник (пологонаклонная узкая площадка между уступом и урезом воды), препятствующий контакту с ним потока. Более высокие берега подвергаются воздействию потока только в нижней части. Если это уступы высоких песчаных террас, то поток вымывает в зоне кон-

такта грунт, а вышележащая толща обрушивается в реку. Иногда в основании таких берегов формируется ниша глубиной в сторону берега до нескольких метров (Чалов, 2000).

Местоположение зон размыва берегов связано с формой русла, то есть его морфодинамическим типом. В зависимости от геолого-геоморфологического строения долин рек русла могут быть широкопойменными ( $B_{п} > 2 \div 3 b_p$ , где  $B_{п}$  – ширина поймы реки,  $b_p$  – ширина русла), врезанными ( $B_{п} < b_p$ , или пойма отсутствует) и адаптированными ( $b_p < B_{п} < 2 \div 3 b_p$ ) (Маккавеев, Чалов, 1986).

Первые соответствуют условиям свободного развития русловых деформаций: берега рек сложены легко размываемыми породами (песками, супесями, суглинками); деформации русла сопровождаются интенсивными размывами пойменных или террасовых берегов.

Устойчивость русла – основной показатель, характеризующий степень сопротивления русла разрушительному воздействию потока.

Для оценки устойчивости русла реки широко используются такие показатели, как:

$$1) \text{ число Лохтина: } L = d/I,$$

где  $d$  – крупность аллювия, мм;  
 $I$  – уклон.

$$2) \text{ коэффициент стабильности русла Н.И. Маккавеева: } K_c = d/bI \times 1000,$$

где  $b$  – ширина русла, м;  
 $d$  – крупность аллювия, мм;  
 $I$  – уклон.

Оценить опасности, возникающие в процессе развития русловых процессов, можно по показателям устойчивости русла, руководствуясь тем, что чем меньше устойчивость русла, тем больше опасность размыва берегов (табл. 1). Так как эти значения характеризуют степень опасности русловых процессов для существования и функционирования инженерных и других объектов на берегах рек, то характеристики устойчивости русла можно дополнить балльной оценкой самой опасности размыва берегов (от 1 до 4 баллов).

**Таблица 1.** Классификация русла по опасности размыва берегов (составлено автором)

Степень опасности	Опасность баллы	Устойчивость	
		Л	К <sub>с</sub>
Низкая (устойчивое русло)	1	более 2,5	более 100
Средняя (средняя устойчивость)	2	2,0–2,5	50–100
Относительно высокая (слабоустойчивое русло)	3	1,0–2,0	20–50
Высокая (неустойчивое русло)	4	менее 0,5	менее 20

Анализ уклонов русла и гранулометрического состава аллювия позволил выделить 20 участков в русле Немана (табл. 2) для расчета числа Лохтина и коэффициента стабильности русла Н.И. Маккавеева, а также рассчитать интенсивность русловых деформаций. Полученные характеристики позволили разработать типизацию русла Немана по его устойчивости и опасности размыва берегов:

**Тип 1 (степень опасности низкая)** – включает участки устойчивого русла реки со слабой опасностью размыва берегов: это участки 9 и 12 (табл. 2). Для этого типа характерны прямолинейный и врезанный (унаследованный) меандрирующий морфогенетические типы русла с преобладанием ленточно-грядового и побочного русловых процессов. Показатели числа Лохтина изменяются в интервале 2,5–2,78, а коэффициента стабильности русла Н.И. Маккавеева изменяются от 39,68 до 132,3. Среднеголетние скорости размыва берегов составляют 0,01–0,18 м/год. Фронт размыва составляет десятки, реже – первые сотни метров береговой линии. Этот тип характеризуется устойчивым положением русла, слабой опасностью и малой протяженностью фронта размыва берегов.

**Тип 2 (степень опасности средняя)** – объединяет среднеустойчивые участки русла реки с умеренной опасностью размыва берегов: это участки 3, 6, 7, 8, 11 (табл. 2). Для этого типа характерны адаптированный меандрирующий с разноплановым смещением и прямолинейный морфогенетические типы русла с преобладанием меандрирующего,

осередкового, побочного и ленточно-грядового русловых процессов. Изменение показателей числа Лохтина и коэффициента стабильности русла Н.И. Маккавеева варьирует в пределах от 1,39–2,5 до 24,04–79,37 соответственно. Среднеголетние скорости размыва берегов составляют до 0,57 м/год. Русло реки на этих участках можно считать относительно устойчивым, с умеренной опасностью размыва берегов. Фронт размыва берегов может составлять первые сотни метров.

**Тип 3 (степень опасности – относительно высокая: слабоустойчивое русло)** – объединяет слабоустойчивые русла реки с более высокими скоростями размыва берегов, это участки 4, 5, 10, 13, 16 (табл. 2). Показатели числа Лохтина изменяются в интервале 1,09–1,67, а коэффициента стабильности русла Н.И. Маккавеева – 21,01–49,41.

Среднеголетние скорости размыва берегов составляют 0,86 м/год.

**Тип 4 (степень опасности – высокая: неустойчивое русло)** – объединяет неустойчивые русла реки с высокими скоростями размыва берегов, это участки 1, 2, 14, 15, 17, 18, 19, 20 (табл. 2). Показатели числа Лохтина изменяются в интервале от 0,04–0,19 до 1,39–1,5, коэффициента стабильности русла Н.И. Маккавеева – 2,67–16,23. Среднеголетние скорости размыва берегов составляют 1,16–3,62 м/год.

В настоящее время характер русловых процессов в долине Немана неоднороден на различных ее участках и даже на небольших отрезках. В связи с этим автором выделены следующие участки:

**1 Столбцовский участок:** от слияния рек Уссы и Лоши до устья Сулы. Ширина речной долины изменяется от 1,5 до 5,5 км. На всей его площади развито свободное меандрирование, ширина меандрового пояса меньше ширины поймы, а пойма занимает большую часть речной долины. Русло образует хорошо выраженные излучины, шаг меандры увеличивается вниз по течению Немана от 50–100 до 150–350 м. В отдельных местах в вершинах наиболее крупных меандров река подмывает надпойменные террасы или коренные склоны.

**Таблица 2.** Значения количественных параметров расчета устойчивости русла по выделенным участкам русла Немана (составлено автором)

Параметр	Участок									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Уклон, ‰	1,34	0,27	0,14	0,23	0,22	0,15	0,1	0,18	0,09	0,2
Крупность аллювия, мм	0,05	0,05	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Ширина русла, м	14	28	28	24,5	23	21	56	25	21	38
Число Лохтина	0,04	0,19	1,79	1,09	1,14	1,67	2,50	1,39	2,78	1,25
К с	2,67	6,61	63,78	44,37	49,41	79,37	44,64	55,56	132,3	32,89
Опасность, баллы	4	4	2	3	3	2	2	2	1	3
Q	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4
Qmax	33,3	33,3	33,3	33,3	33,3	33,3	33,3	33,3	33,3	33,3
K	0,0055	0,0055	0,0055	0,0055	0,0055	0,0055	0,0055	0,0055	0,0055	0,0055
Нб	140,6	140,8	149,8	141,4	139	132,8	134,8	150,4	148,4	148,4
С	0,35	0,07	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Сmax	1,16	0,23	0,02	0,04	0,04	0,03	0,02	0,03	0,01	0,03

**Таблица 2.** Окончание

Параметр	Участок									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Уклон, ‰	0,13	0,1	0,15	0,17	0,1	0,17	0,15	0,14	0,19	0,18
Крупность аллювия, мм	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Ширина русла, м	80	63	84	120	154	70	180	110	120	101
Число Лохтина	1,92	2,50	1,67	1,47	2,50	1,47	1,67	1,79	1,32	1,39
К с	24,04	39,68	19,84	12,25	16,23	21,01	9,26	16,23	10,96	13,75
Опасность, баллы	2	1	3	4	4	3	4	4	4	4
Q	112	112	112	112	112	154	154	154	154	198
Qmax	176	176	176	176	176	255	255	255	255	327
K	0,0055	0,0055	0,0055	0,0055	0,0055	0,0055	0,0055	0,0055	0,0055	0,0055
Нб	154,6	154,6	118,2	116,2	114,6	123	124,6	123,8	106	117
С	0,23	0,18	0,35	0,40	0,24	0,72	0,63	0,59	0,94	1,33
Сmax	0,57	0,44	0,86	1,00	0,59	1,98	1,72	1,62	2,56	3,62

Здесь Неман находится в стадии бокового, горизонтального врезания, приводящей к уничтожению площадок террас, размыванию коренных склонов и расширению дна его долины. Абсолютные отметки поймы составляют 140,0–150,0 м, отметка уреза воды – 139,0 м.

Коэффициент меандрирования – 1,29–1,75. Существенные колебания коэффициента меандрирования наблюдаются на участке между деревень Лядины и Луговатое. Ниже по течению, в районе д. Новый Свержень, отмечен максимальный показатель – 1,75.

Изменение величин коэффициента меандрирования на данном участке объясняется литологическими особенностями четвертичных отложений ( $Q$ ). Здесь Неман размывает флювиогляциальные отложения ( $fQ_2sz^s$ ), способствующие меандрированию.

**2 Любчанский участок:** между устьями рек Сулы и Березины. На данном участке характер речной долины становится иным: она становится резко асимметричной, ширина достигает 20,0 км. Характер современных флювиальных процессов изменяется, река протекает по территории Налибокской низины. Здесь наблюдается свободное меандрирование русла, снижение пойменных уровней (абсолютные отметки поймы составляют – 130,0–135,0 м) и расширение дна долины. Это приводит к обширным разливам в низине, заболачиванию и заторфовыванию дна долины и нарастанию пойменного аллювия. Ширина меандрового пояса уступает ширине поймы. Увеличены и размеры излучин от 0,2–0,4 км ниже устья Сулы до 0,5–1,5 км у г.п. Любча.

Коэффициент меандрирования в среднем составляет – 1,26. Но выделяется несколько участков, где наблюдается его аномальное значение: реки Яченка и Сула, где он составляет 1,44 и 1,38 соответственно. Максимальное значение коэффициента меандрирования фиксируется у д. Ерши – 1,76. Такие аномальные значения коэффициента меандрирования можно объяснить не только геолого-литологическими характеристиками четвертичных отложений ( $Q$ ), но и наличием локальных тектонических структур.

**3 Моринский участок:** от устья Березины до устья Молчади. На большей части участка

долина реки отличается четко выраженным асимметричным профилем: правый склон крутой и высокий, а левый – пологий и более низкий в связи со смещением русла. Ширина долины изменяется от 6–7,0 до 8,5–9,5 (у д. Белица и д. Николаев соответственно) до 15,0–16,0 км (у д. Докутово). Характерно свободное меандрирование, но ширина меандрового пояса незначительно уступает ширине поймы. Шаги меандров увеличиваются до 1,5–2,5 км. Боковое смещение русла приводит к уничтожению высокой поймы, надпойменных террас и разрушению коренных склонов долины.

Вследствие восстановления меандрирования реки между устьем реки Дзитвы и д. Селец отмечается затухание процесса фуркации русла. Абсолютные отметки поймы составляют порядка 130,0 м. Встречаются на пойме староречья.

Коэффициент меандрирования в среднем составляет – 1,1. Его значения возрастают до 1,4–1,5 в районе пос. Любча и д. Новое Село соответственно. Незначительные величины коэффициента меандрирования объясняются тем, что здесь река размывает моренные отложения ( $gQ_2sz$ ). На тех участках, где он аномально высок, в сравнении со средним значением, объясняется выходом реки на пониженную поверхность, сложенную флювиогляциальными отложениями ( $fQ_2sz^s$ ).

**4 Мостовский участок:** между устьями рек Молчадь и Котра. Ширина речной долины изменяется от 5,0 до 7,9 км, наименьшая ширина долины прослеживается у д. Береговцы, составляя 0,5 км. На данном участке прослеживается довольно разнообразное проявление современных флювиальных процессов: до г. Мосты наблюдается свободное меандрирование, чередующееся с фуркацией русла у деревень Мотевичи, Дворчаны, Русаки и др. Русло размывает отложения озерно-ледникового генезиса ( $lgQ_3pz$ ).

Пойменные уровни незначительны, абсолютная отметка поймы составляет 115,0–120,0 м, урез воды – 113,0 м. В пойме встречаются староречья, заболочена.

Среднее значение коэффициента меандрирования – 1,03. Однако вблизи деревень Бурносы и Орля он возрастает до 1,1–1,15,

что связано с впадением рек Молчадь и Щара.

**5 Гродненский участок:** от устья реки Котры до границы «РБ–Литва».

Данный участок сложен трудно размываемыми моренными валунами ( $gQ_2sz$ ,  $gtQ_2sz$ ), грубыми песчано-гравийно-галечными ледниковыми осадками. Здесь река переживает фазу врезания.

Долина Немана узкая, пойменные уровни развиты очень слабо либо отсутствуют. Меандрирование, в пределах Гродненского участка слабое, либо отсутствует.

Коэффициент меандрирования – 1,02, что объясняется врезанием реки в моренные отложения.

**6 Средне-Неманский участок:** расположен ниже д. Гожа до устья реки Черная Ганьга. Рассматриваемый участок расположен в пределах Средне-Неманской низины. Здесь речное русло размывает озерно-ледниковые отложения ( $lgQ_3pz$ ), представленные глинами, суглинками, супесями и песками.

Ширина речной долины постепенно возрастает после выхода реки из пределов Гродненской возвышенности и составляет у д. Гожа 4,9 км, у д. Лукавица – 7,9 км. Выделяются участки с прямолинейным и фуркирующим руслом. В пределах поймы встречаются старинные озера, она частично заболочена. Абсолютные отметки поймы минимальные, в сравнении с иными участками, и составляют 85,0–90,0 м. Отметка уреза воды – 87,0 м. Коэффициент меандрирования – 1,05.

## Выводы

Разнообразие геолого-геоморфологических условий речной долины Немана определило разделение ее на участки, отличающиеся по характеру строения речной долины, распространению морфодинамических типов русла, гидроморфологическим характеристикам, интенсивности и направленности русловых деформаций.

Автором проведена оценка устойчивости речного русла Немана, разработана типизация русла Немана по его устойчивости и опасности размыва берегов. Выделено четыре типа русла: тип 1 (степень опасности низкая), тип 2 (степень опасности средняя), тип 3 (степень опасности – относительно высокая: слабоустойчивое русло), тип 4 (степень опасности – высокая: неустойчивое русло).

Определено, что в настоящее время характер русловых процессов в долине Немана неоднороден на различных ее участках и даже на небольших отрезках. На основании этого автором выделены следующие участки: Столбцовский, Любчанский, Мостовский, Гродненский, Средне-Неманский.

## Библиографический список

- Беркович К.М.* Размыв речных берегов: факторы, механизм, деятельность человека // Геоморфология. 2019. № 9. С. 3–17;
- Маккавеев Н.И., Чалов Р.С.* Русловые процессы. М.: МГУ, 1986. 264 с.
- Чалов Р.С.* Почему размываются берега / Соросовский образовательный журнал. 2000. № 2. С. 99–106.

# Riverbed Processes and Stability of the Neman River Course (within the Republic of Belarus)

T.A. Melezh

Gomel State University F. Skarina  
104/4-27 Sovetskaya Str., Gomel 246012, Republic of Belarus.  
E-mail: tatyana.melezh@mail.ru

The article provides an assessment of the stability of the Neman riverbed. Author has developed a classification of the Neman River course based on the evaluation of its stability and coastal erosion risk. It has been established that presently the nature of riverbed processes in the Neman Valley is heterogeneous in various sections and even in small segments. On base of obtained results, the author has identified the following segments: Stolbtsovskiy, Lyubchanskiy, Mostovski, Grodno, and Sredne-Neman.

*Key words:* river valley, Neman, riverbed processes, coastal erosion, degree of danger, channel typification

## References

- Berkovich K.M.* 2019 Razmyv beregov: faktory, mechanism, deyatelnost' cheloveka [Erosion of river banks: factors, mechanism, human activity]. Geomorfology. 9:17. (in Russian)
- Makkaveev N.I., Chalov R.S.* 1986. Ruslovy protsessy [Riverbed processes]. MGU, Moskva, p. 264. (in Russian)
- Chalov R.S.* 2000 Pochemu razmyvautsya berega [Why are the shores being washed away]. Soro-  
sovskiy obrazovatelnyy gurnal. 2:99–106.