

ЭВОЛЮЦИЯ ГИДРОСФЕРЫ ЗЕМЛИ

THE EVOLUTION OF THE EARTH'S HYDROSPHERE

УДК 556

DOI: 10.34753/HS.2019.1.3.002

**ИЗМЕНЕНИЯ СКОРОСТИ
ВЕРТИКАЛЬНЫХ РУСЛОВЫХ
ДЕФОРМАЦИЙ РАВНИННЫХ РЕК
В УСЛОВИЯХ ПРИИЛЬМЕНСКОЙ
НИЗМЕННОСТИ (НА ПРИМЕРЕ
РЕКИ ПОРУСЬЯ)**

А.Ю. Виноградов^{1,2}, В.А. Обязов¹,
М.М. Кадацкая¹

¹ООО НПО «Гидротехпроект», г. Валдай,
Россия; ²Санкт-Петербургский государ-
ственный лесотехнический университет,
г. Санкт-Петербург, Россия
gd@npogtp.ru

**VARIABILITY OF VELOCITIES OF
VERTICAL WATERCOURSE DE-
FORMATIONS OF PLAIN RIVERS
UNDER CONDITIONS OF PRIIL-
MEN LOWLAND (BY THE EXAM-
PLE OF PORUSIA RIVER)**

Alexey Yu. Vinogradov^{1,2}, Viktor A. Obyazov¹,
Mariya M. Kadatskaya¹

¹Scientific and Industrial Research Associa-
tion *Gidrotehproekt*, Valday, Russia;
²Saint Petersburg State Forest Technical
University, St. Petersburg, Russia
gd@npogtp.ru

Аннотация. Известные закономерности ре-
грессивной эрозии от устья к истокам водото-
ков на реках Приильменя выполняются дис-
кретно, поскольку базис эрозии – вначале
уровень Средне-Ловацкого (Привалдайского)
приледникового озера, а затем озера Ильмень
– снижался в течение 12,5 тыс. лет с отметок
около 85 м до современных 18 м, стабилизи-
руясь на продолжительное время на отметках
60, 40, 30 м. Сравнение построенного по кар-
тографическим материалам продольного
профиля реки Порусьи с рассчитанным по

Abstract. The well-known patterns of re-
gressive erosion from the mouth to the
sources of watercourses on the rivers of Priil-
men'ya are performed discretely, since the
basis of erosion (first the level of Sredne-
Lovatsy (Privaldaysky) glacial lake, and then
Lake Ilmen) is decreased over 12.5 thousand
years from elevations of about 85 m to mod-
ern 18 m, stabilizing for a long time at eleva-
tions of 60, 40, 30 m. Comparison of the lon-
gitudinal profile of the Porusia River con-
structed from cartographic materials with su-

формуле Н.И. Маккавеева предельным профилем эрозионного вреза показало, что профиль исследуемой реки еще не достаточно выработан, хотя превышение бровок долины над дном реки в ее среднем течении составляет 10-15 м. Корректность расчета эрозионной кривой подтверждается ее совпадением с продольным профилем реки Ловать, существующую значительно более долгое время и имеющую наибольшую водность среди рек Приильменской низменности. По данным топографических карт 1932 и 1984 годов, а также собственных измерений 2016-2019 годов установлено, что общее понижение дна реки в районе деревни Минцево (71 км от истока) за 90 лет (1930-2019 годы) достигало 3,5 м. По другим способам оценки, включая опросы местных жителей, глубина эрозионного вреза на этом участке примерно за такой же промежуток времени составила от 1 до 1,6-1,8 м. На другом участке реки (53 км от истока) за сопоставимый период по картографическим материалам были получены аналогичные скорости вертикальных русловых деформаций. Изучение дополнительного материала позволило выдвинуть гипотезу, согласно которой за 300 лет отметки дна могли снизиться на 10 м. На основании анализа данных почвенного разреза сделан вывод, что скорость вертикального размыва имела ярко выраженный дискретный характер. На труд-

preme erosion cut profile calculated according to the formula N.I. Makkaveev showed that the profile of this river has not yet been sufficiently developed, although the excess of the edge of the valley above the bottom of the river in its middle course is 10-15 m. The correctness of the calculation of the erosion curve is confirmed by its coincidence with the longitudinal profile of the river Lovat', which exists for a longer time and has the greatest water content among the rivers of the Priilmen lowland. According to topographic maps of 1932 and 1984, as well as our own measurements of 2016-2019 it was found that the total lowering of the river bottom near the village of Mintsevo (71 km from the source) over 90 years (1930-2019) reached 3.5 m. Using other assessment methods, including surveys of local residents, the depth of the erosion cut in this locality is approximately the same period of time ranged from 1 to 1.6-1.8 m. On a different locality of the river (53 km from the source) for a comparable period, similar rates of vertical channel deformations were obtained from cartographic materials. Studying of additional let make a hypothesis according to which over 300 years the bottom marks could decrease by 10 m. An analysis of the soil section data allowed us to conclude that the rate of vertical erosion had strongly marked discrete character. On hard washable areas, vertical

норазмываемых участках вертикальная эрозия резко замедлялась и составляла тысячи лет, а мощные слои супесей размывались в течение столетий.

Ключевые слова: русловые деформации; эрозионный врез; водоупор; почвенный разрез; река Порусья; Приильменная низменность.

erosion slowed sharply and was some thousands years, but for thick layers of sandy loam eroded for centuries.

Keywords: deformations of the watercourse; erosive incision; waterproof soil; soil section; Porusia River; Priilmen lowland.

Введение

Проблемы эволюции равнинных (при уклонах менее 0,6‰) речных долин имеют не только теоретическое, но и практическое значение при решении вопросов гидротехнического, мелиоративного и дорожного строительства.

С геолого-геоморфологической точки зрения, любая река проходит ряд стадий, от молодости до зрелости, например [Земцов, 1979; Короновский, 2006]. Считается, что на ранней стадии жизни в реке преобладает донная эрозия, река представляет собой узкую, неразработанную долину V – образной формы (овражный тип) [Короновский, 2006]. В дальнейшем долина расширяется за счет боковой эрозии и, вследствие меандрирования, ограниченного коренными берегами долины, долина приобретает ящикообразную форму: формируется пойма, образуются террасы, продольный профиль реки в нижней части выравнивается, максимальный уклон поднимается вверх по течению к водоразделу. В последней стадии своей жизнедеятельности долина реки расширяется еще больше, вновь меняется тип руслового процесса, река неограниченно меандрирует, образуется много стариц, уклоны падают, скорость течения замедляется. В конце концов река заиливается и зарастает.

Процесс формирования русел рек, включая разработку их продольного профиля, интересно рассмотреть на примере рек, возникших после деградации Валдайского оледенения на территории Приильменной низменности. Во-первых, этот процесс происходил в сравнительно короткий промежуток времени (12-15 тыс. лет), за который достаточно хорошо известна история развития рельефа и речной сети [Hughes et al., 2016; Gorchach, Hang, Kalm, 2017; Rinterknecht et al., 2018, Виноградов, Обязов, Кадацкая, 2019]. Во-вторых, русловой процесс этих рек развивается в ледниковых отложениях, состоящих

преимущественно из трудноразмываемых суглинков, что выступает ограничивающим фактором в развитии их русел.

Целью исследования является оценка скорости врезания русел малых рек Приильменской низменности в подстилающие грунты.

Объект исследования

В качестве объекта исследования выбрана средняя по размерам, из впадающих в оз. Ильмень южных притоков, река Порусья. Площадь водосбора Порусьи – 1030 км², средняя ширина водосбора в верховьях составляет 8 км, в среднем течении – 5 км, в нижнем – 4 км. Длина водосбора – около 100 км.

Поскольку заложение современной речной сети Южного Приильмения произошло в процессе деградации Валдайского оледенения, время существования реки Порусья не превышает 15 тыс. лет, причем часть реки в нижнем течении находится при современном базисе эрозии всего около 5 тыс. лет [Виноградов, Обязов, Кадацкая, 2019].

Результаты и обсуждение

Известные закономерности регрессивной эрозии от устья к истокам водотоков на реках Приильмения выполняются дискретно, поскольку после деградации Валдайского оледенения базис эрозии – уровень Средне-Ловацкого (Привалдайского) приледникового озера – снизился с отметок 85 м [Квасов, 1975] (около 12,5 тыс. л.н.) до отметок 60 м, где на достаточно длительный период (более 1000 лет) стабилизировался [Субетто, 2007]. Вследствие этого регрессивная эрозия начиналась от базиса 60 м [Геология СССР, 1971] и именно на этих высотах река имеет максимальный врез долины – 10 м и более. Около двух тысяч лет (9 500-11 500 л.н.) уровень колебался в районе отметки 40 м.

В дальнейшем (8 тыс. л.н.) произошла регрессия оз. Ильмень до отметок 30 м [Субетто, 2007], и последние 5 тыс. лет уровень колеблется в пределах 18-25 м Балтийской системы (далее – БС) [Геология СССР, 1971; Виноградов, Обязов, Кадацкая, 2019].

Поскольку отметки ледникового озера достаточно длительный период последовательно располагались на уровнях 60 и 40 м, то на этих отметках сегодня можно видеть выраженные абразионные уступы в южной и юго-восточной частях низменности [Геология СССР, 1971]. Озерно-ледниковые отложения верхнего звена Валдайского надгоризонта имеют место до отметок 35-40 м на юго-востоке и 30 м на юго-западе

низменности. Западнее эти отложения погребены под слоем более поздних ледниковых отложений [Геология СССР, 1971].

По данным топографических карт 1932 и 1984 гг., а также материалам собственной съемки 2017 г. были построены продольные профили р. Порусья за эти годы и продольный профиль коренного берега (рисунок 1). На продольном профиле коренного берега отчетливо видны повышенные уклоны на высотах 40-50 и 60-70 м, что подтверждает факт долговременного наличия уреза воды на отметках 40 и 60 м.

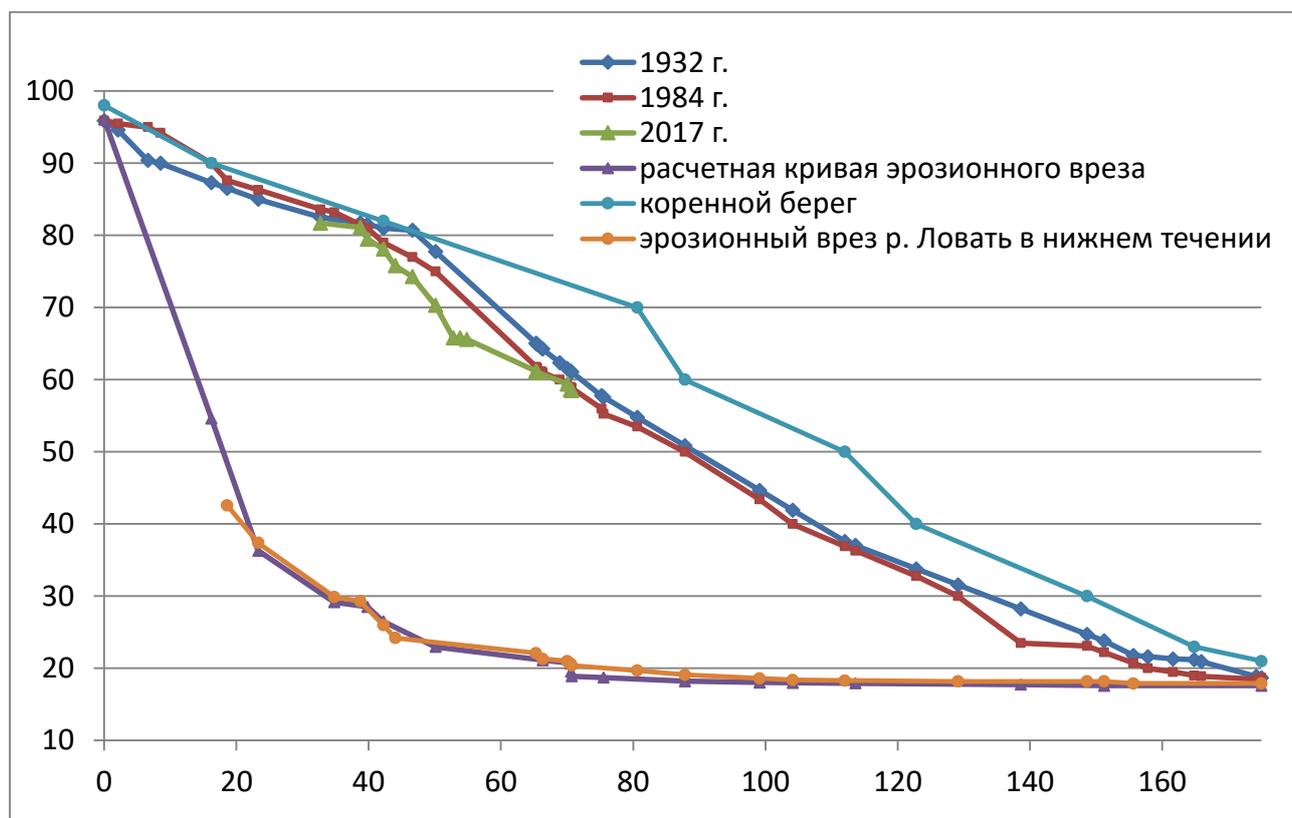


Рисунок 1. Продольный профиль реки Порусья

Figure 1. Longitudinal profile of the Porusia River

На рисунке 1 также представлен предельный профиль эрозионного вреза р. Порусья, рассчитанный по формуле [Маккавеев, 2003]:

$$J = K_0 Q^{-2/3}, \quad (1)$$

где K_0 – постоянная, зависящая от шероховатости и формы живого сечения русла,
 Q – руслообразующий расход воды 50% повторяемости, по длине русла.

В отличие от общепринятого [Маккавеев, 2003; Беркович, 2012] варианта, K_0 подобран из соображений равенства верхней расчетной точки врезки отметке истока реки. У Н.И. Маккавеева K_0 – коэффициент, зависящий от режима стока, шероховатости русла, крупности наносов и формы поперечного сечения, у нас – коэффициент пропорциональности.

Река Ловать, как существующая значительно более долгое время и имеющая большую водность, сработала русло в пределах Приильменской низменности практически до предельного значения, приближенного к базису эрозии. Близость рассчитанных по (1) предельных значений эрозионной кривой r . Порусья существующим отметкам врезки r . Ловать, говорит о правильности выполненных нами расчетов.

Скорость врезания равнинных рек по [Никонов, 1971] не превышает 0,2-0,7 мм/год. Врезание русла r . Порусья в склон низменности, исходя из этих соображений, должно составить 5-7 м за 10 000 лет, или около 10 м за время существования реки, что, в среднем, соответствует действительности.

Река Порусья имеет начало на высотных отметках около 100 м БС. Аллювиальные отложения начинаются с отметок дна 85 м БС, в верховьях их мощность не превышает 0,1-0,5 м [Геология СССР, 1971] и возрастает по мере приближения к устью:

- в створе д. Нивки (39 км от истока) – 1,6 м; отметка меженного уреза – 80,0 м; отметка дна – 79,5 м¹;
- в створе д. Минцево (71 км от истока – собственные наблюдения в 2016-2019 гг.) отметка водоупора – 57,8 м БС; минимальная отметка дна за период наблюдений (2017) – 57,8 м; максимальный слой аллювиальных отложений, включающий пойму и первую береговую террасу, составляет 5,5 м;
- в створе урочища Бабаново (81 км от истока) – 2,0 м; отметка уреза – 53,5 м; отметка дна – 52,5 м (рисунок 2а);
- в створе д. Лосытино (130 км от истока) – 6,7 м; отметка уреза – 29,0 м; отметка дна – 28,0 м (рисунок 2б).

Итак, по геологическим картам подрусловой слой аллювиальных отложений на участке максимальных размывов (40-80 км от истока) составляет не менее 1,5 м, по непосредственным наблюдениям он не превышает 1 м и при интенсивных паводках смывается полностью, что приводит к воздействию потока непосредственно на водоупорные горизонты.

¹ Карта четвертичных отложений: О-36-XX (Старая Руса). Государственная геологическая карта Российской Федерации. Карта четвертичных образований. Ильменская серия, масштаб: 1:200000, серия: Ильменская / редактор: К.Э. Якобсон. Северо-Западное производственное геологическое объединение, 1988.

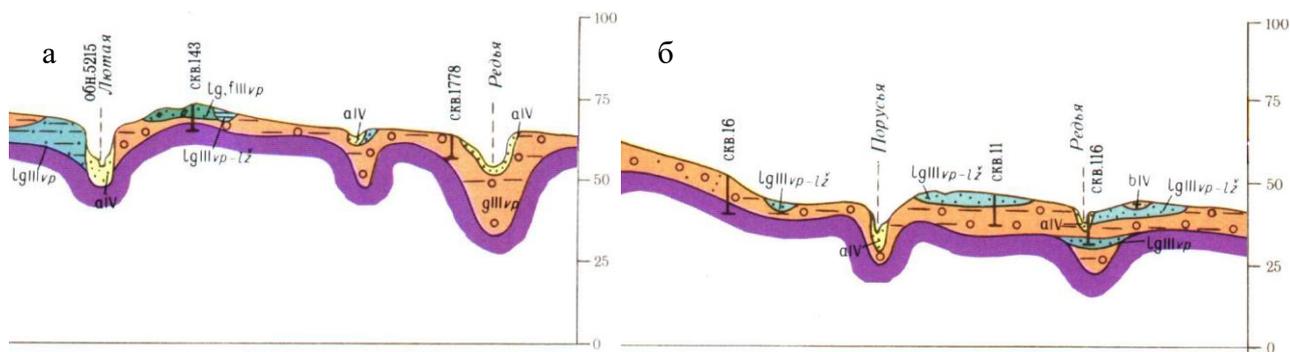


Рисунок 2. Разрез четвертичных отложений долины р. Порусья

на 81 км (между Лютой и Редьей) (а) и на 130 км (б) от истока²

Figure 2. Section of the Quaternary sediments of the Porusia River valley

for 81 km (between Lyuta and Redya) (a) and 130 km (б) from the headwaters

Водоупором реке служат ледниковые отложения Валдайского горизонта верхней морены (*gIIIvp3*). На всей территории низменности он является наиболее распространенным относительно непроницаемым горизонтом средней мощностью 15 м.

Продольный профиль реки в верховьях пологий. Вертикальный размыв в пределах водораздельного болотного массива минимальный. Река интенсивно меандрирует и имеет коэффициент извилистости 1,2-1,5. Ниже по течению врез реки относительно коренного берега растет и достигает 5-8 м к отметкам меженных урезов 75-80 м. Интенсивный вертикальный размыв происходит на отметках 75-50 м.

В последние годы на двух участках р. Порусья силами ООО НПО «Гидротехпроект» ведутся наблюдения за вертикальной и береговой эрозиями. Нижний участок расположен в районе д. Минцево – 71 км от истока (рисунок 3). Обычно все оценки размывающей способности потока строятся на его способности размывать и перемещать аллювиальные отложения реки. Однако в районе д. Минцево мощность донных аллювиальных отложений не превышает 0,5 м, а после дождливого сезона 2017 года на рассматриваемом участке аллювий был смыт полностью. Отметка водоупора в русловой части (тяжелые суглинки) на этом участке составляет 57,8 м, и в затажные паводки река также врезается непосредственно в водоупор.

² Там же

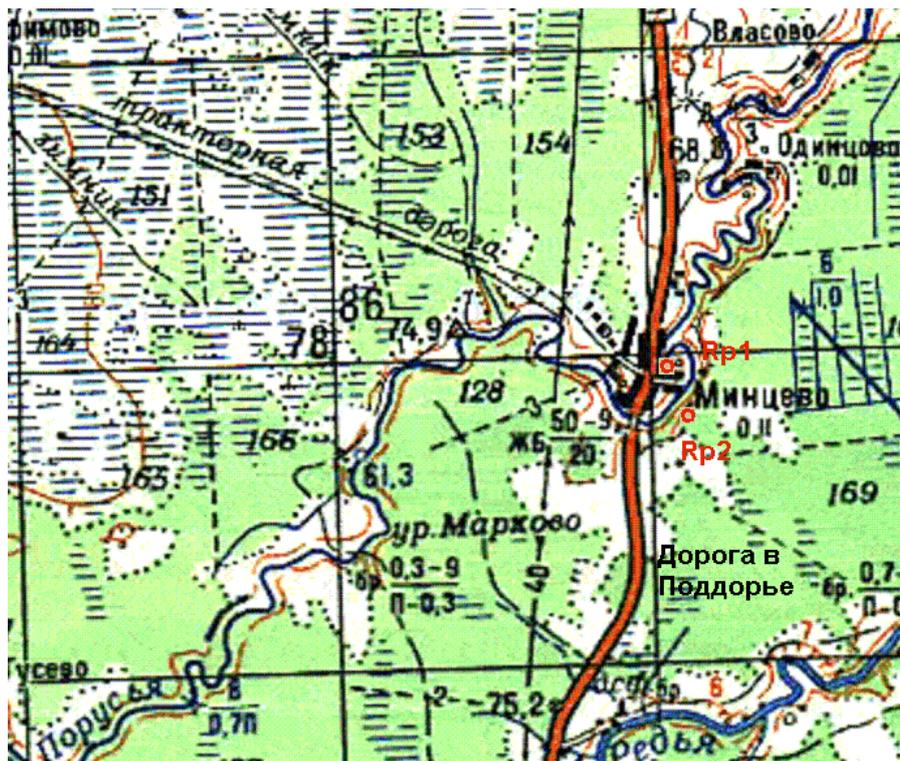


Рисунок 3. Местоположение нижнего участка. О-36-87, карта 1988 года, масштаб 1:100 000

Figure 3. The location of the lower locality. О-36-87, map of 1988, scale 1: 100 000

Отметки меженных урезов воды в районе репера 1 (рисунок 3) по картографическому материалу 1932 года (62,5 м) отличаются от соответствующих отметок на картах 1984 года (60,0 м) (инструментальные измерения 1955 г.) на 2,5 м в сторону понижения. Нашими измерениями 2017-2019 гг. данная тенденция подтверждена (58,8 м БС). Меженные глубины 0,4-0,6 м. Отметки с карт на рассматриваемый створ перенесены интерполированием. Таким образом, общее понижение дна реки на участке за 90 лет (1930-2019 гг.) составило 3,5 м. Нами ранее свидетельств таких односторонних интенсивных вертикальных размывов на равнинных реках не отмечалось.

Другим способом оценки скорости вертикальных деформаций на этом участке реки является сравнение отметок старицы и современного русла (рисунок 4). Дно старицы (работающей по картам 1932 года) превышает отметки существующего дна реки на 4,5 метра при расчетном подъеме уровня на 4,2 м для пропуска расхода 1% обеспеченности. Отметка водоупора дна старицы выше отметки водоупора существующего русла на 0,85 м. То есть, можно предположить, что вертикальный размыв в районе д. Минцево за этот период (1940-е – 2010-е гг.) составил около 1 м.

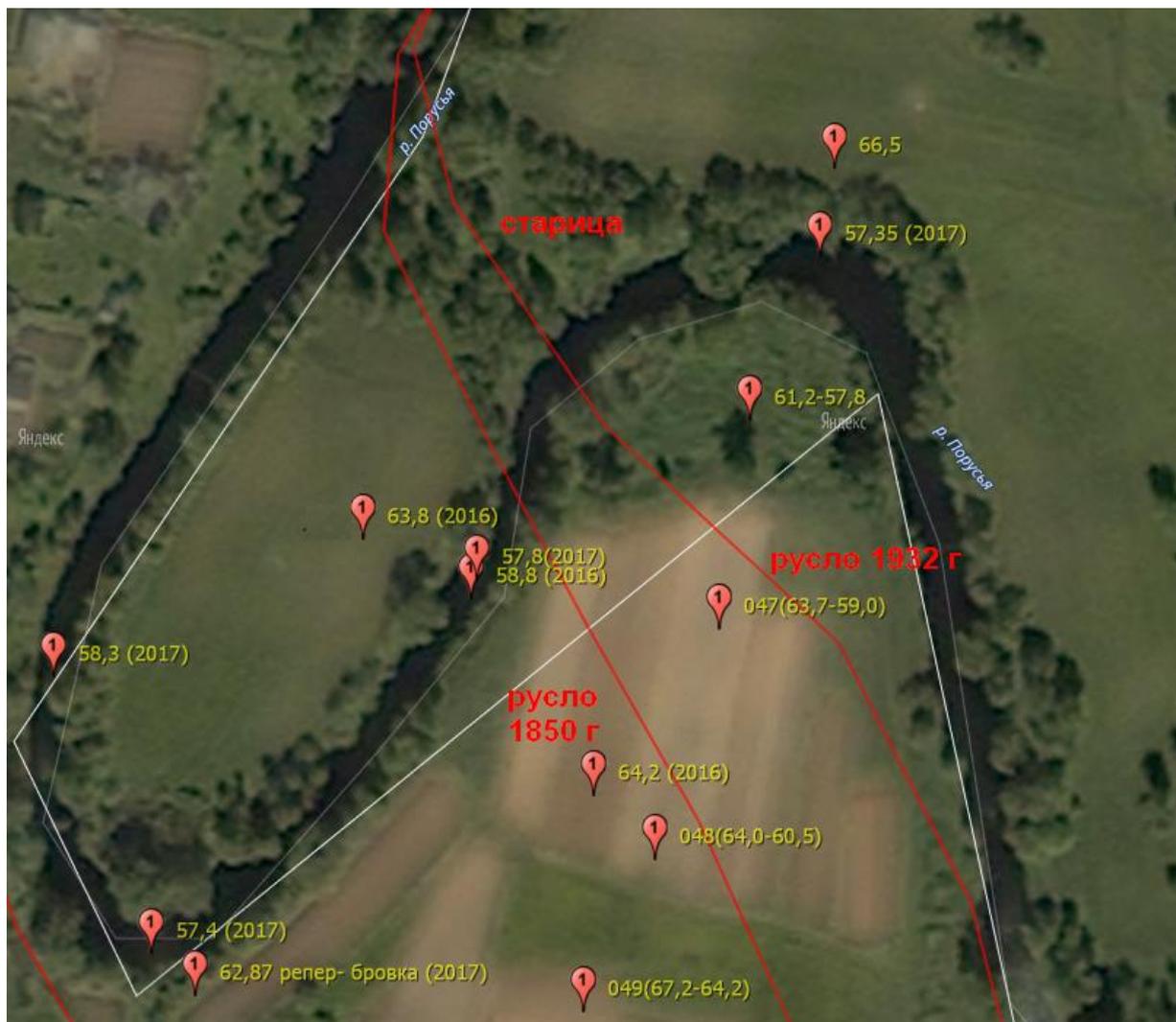


Рисунок 4. Старица р. Порусья в районе д. Минцево. Участок №2.

Снимок из программы SAS.Planet.Release.160707

Figure 4. Oxbow of Porusia River near the village of Mintsevo. Locality number 2.

Snapshot from SAS.Planet.Release.160707

Полученные результаты совпадают с данными, полученными при опросе местных жителей, по свидетельству которых за последние 50 лет в пределах д. Минцево среднемеженные уровни упали на 1,6-1,8 м, что однозначно связано с просадкой дна реки.

Верхний участок наблюдений расположен у д. Петихино (рисунок 5). Отметка дна р. Порусья в настоящее время (нивелировка 2019 г.) на данном участке составляет 65,3 м относительно отметки коренного берега 80,0 БС (53 км от истока). Отметки меженного уреза в этом месте в 1932 г. – 70,2 м; 1984 г. – 69,0 м; 2019 г. – 66,0 м. Соответственно, общее понижение на этом участке реки составило около 4 м!

Столь быстрый размыв за сравнительно небольшой период времени вызывает обоснованные сомнения. Получается, что за время, когда озеро отступило с этих отметок – 12 тыс. лет – общее вертикальное смещение составило 15 м, а за последние 100 лет – 4 м? Тем более что данные даже крупномасштабных картографических материалов изобилуют ошибками и неточностями.

Формирование русел реки и ее притоков на этом участке, по нашему мнению, могло происходить по следующей гипотезе: русло в начальной стадии своего формирования располагалось северо-западнее его нынешнего положения по линии русел притоков, впадающих в настоящее время в реку выше д. Петихино и ниже д. Полтораново (рисунок 5). Впоследствии образовалось современное русло, а старое превратилось в старицу. На карте 1793 года в районе отметки 86,8 находилась д. Чертова, которая отсутствует уже на картах Шуберта середины 19 века. Основное русло реки Порусья находилось юго-восточнее, следовательно можно сделать вывод, что старица в конце 18 века уже не работала.

Предположительно река ушла в новое русло в первой четверти 18 века, таким образом срок отмирания старицы составляет около 300 лет. Старая отметка водоупора дна старицы, полученная технической нивелировкой и буровыми работами в русле, находится не ниже 75,5 м БС, существующая отметка дна в русле реки в точке бифуркации – 65,3 м. Поскольку, как было показано ранее, река на этом участке за 100 лет врезалась на 4 м, можно предположить, что за 300 лет отметки дна могли снизиться на 10 м. Тем более, максимальные уклоны и, следовательно, скорость размыва в настоящее время находятся именно на рассматриваемом участке. Но тогда получается, что за предыдущие 11,5 тыс. лет река размывла всего около 5 м?

Отметка дна старицы в районе второго репера – 72,9 (рисунок 5), водоупора (тяжелые девонские суглинки) – 73,6 м. Аллювиальные отложения в русле старицы в районе наблюдательного створа отсутствуют. Ручей, протекающий в настоящее время по старице, врезался в водоупор на 70 см.

Вертикальный разрез коренного берега представлен в таблице 1. Отметка поверхности почвы 79,5 м БС.

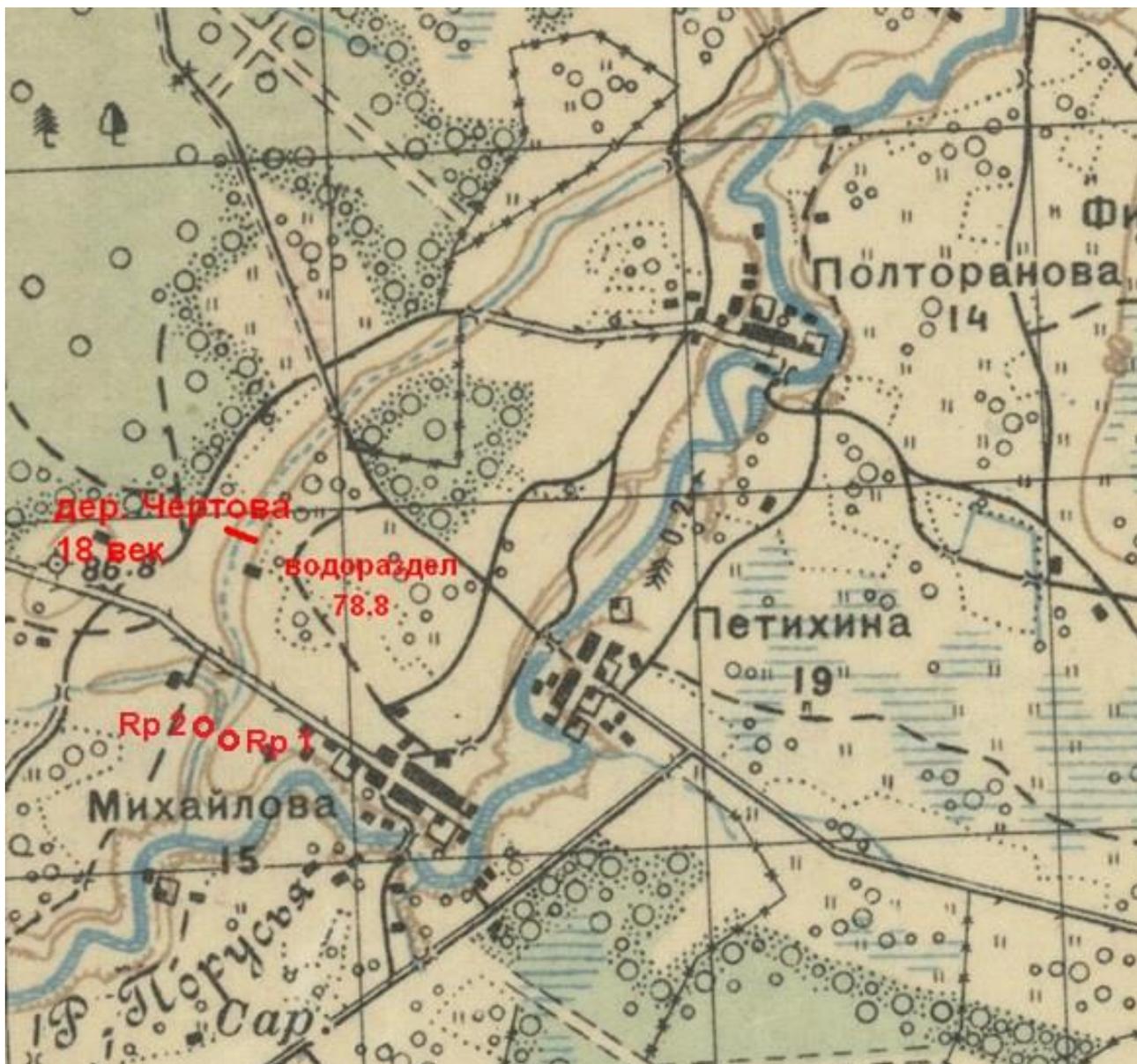


Рисунок 5. Местоположение верхнего участка. Управление военных топографов О-36-87-В, карта 1932 года, масштаб 1:50 000 (в названиях деревень допущена ошибка: вместо «Михайлова» следует читать «Петихина», и наоборот)

Figure 5. The location of the upper locality. Management of military topographers O-36-87-B, map of 1932, scale 1:50 000 (a mistake was made in the names of the villages: instead of “Mikhailov” you should read “Petikhina”, and vice versa)

Таблица 1. Вертикальный почвенный разрез по правому берегу старицы р. Порусья

Таблица 1. Vertical soil section along the right bank of the old Porusia River

разрез	мощность, м	влажность	плотность в естественном залегании	пористость	плотность сухого	пористость сухого
почвенный слой	0-0,65	-	-	-	-	-
суглинок красно-коричневый, трещиноватый	0,65-1,05	0,24	2,08	0,23	1,84	0,32
супесь красная	1,05-1,6	0,24	1,91	0,29	1,67	0,38
суглинок красный	1,6-1,8	0,48	2,12	0,22	1,64	0,39
супесь серая, водоносная	1,8-2,0	0,43	2,05	0,23	1,62	0,39
супесь с прожилками суглинков	2,0-3,3	0,38	1,80	0,33	1,52	0,43
супесь коричневая	3,3-4,45	0,51	1,82	0,32	1,32	0,51
суглинок красный	4,45-4,55	0,37	2,11	0,22	1,73	0,36
супесь серая, водоносный горизонт	4,55-4,6	0,45	2,10	0,21	1,65	0,38
пятнистый суглинок, плотный	4,6-5,0	0,36	2,20	0,19	1,84	0,32
красный суглинок, плотный	5,0-5,45	0,38	2,22	0,18	1,84	0,32
супесь серая мелкозернистая	5,45-5,65	0,47	2,10	0,21	1,63	0,39
серо-голубой суглинок, плотный	5,65-5,9	0,43	2,31	0,15	1,88	0,31
красный суглинок, плотный	5,9-7,4	0,37	2,20	0,19	1,83	0,32
песок желтый, среднезернистый	7,4-10,0	0,36	2,04	0,24	1,68	0,37
песчаник серый, плотный	10,0-10,7	0,38	2,14	0,20	1,76	0,34
супесь	10,7-	0,38	2,07	0,22	1,69	0,37

Слои трудноразмываемых флювиогляциальных суглинков имеют суммарную мощность всего 0,75 м. Ниже залегают легкоразмываемые супеси общей мощностью 3,2 м. Далее под 0,85 м слоем плотных суглинков опять находится 0,2 м водоносный горизонт голубой мелкозернистой супеси, ниже которого тяжелые трудноразмываемые голубые и красные суглинки общей мощностью около 2,0 м. Еще ниже среднезернистые пески, подстилаемые плотным песчаником, мощностью до 1 м с отметкой подошвы 69,5 м БС.

Анализируя данные разреза можно сделать вывод, что скорость вертикального размыва имела ярко выраженный дискретный характер. На трудноразмываемых участках вертикальная эрозия резко замедлялась и составляла тысячи лет, далее мощные слои супесей размывались в течение столетий, выносимый материал давал реке возможность строить ниже по течению пойменные и надпойменные террасы.

После размыва суглинков при достижении отметок 72,0 м, скорость размыва опять возросла и на рассматриваемом участке за несколько столетий вертикальная эрозия могла достигнуть 7 м.

В соответствии с другой гипотезой русло в течение всего времени существования реки располагалось примерно на том же месте, постепенно врезаясь в подстилающие грунты. Левобережные притоки также впадали в этих же местах. Однако верховье притока, впадающего выше д. Петихино (руч. Петихинский), в прошлом принадлежало притоку, впадающему ниже д. Полтораново (руч. Полторановский) (рисунок 5). Поскольку руч. Петихинский располагается практически перпендикулярно долине р. Порусья, по мере опускания базиса эрозии уклоны его русла существенно увеличивались. Соответственно, возрастал его эрозионный потенциал. В результате пятящейся эрозии вершина его вреза достигла русла руч. Полторановского и произошел перехват верховьев этого ручья. Не получая притока, его русло в этом месте деградировало и практически не выражено в настоящее время в рельефе.

Авторы планируют продолжить полевые исследования на р. Порусье, в том числе, выполнить проверку выдвинутых гипотез.

Выводы

Скорость вертикальных деформаций р. Порусья в районе д. Минцево по разным оценкам составила за 80-90 лет от 1 до 3,5 м.

В отношении развития р. Порусья в районе д. Петихино выдвинуто две гипотезы, согласно одной из которых величина вреза русла могла достигать 10 м за 300 лет.

Литература

Беркович К.М. Русловые процессы на реках в сфере влияния водохранилищ. М.: Геогр. фак. МГУ, 2012. 163 с.

Виноградов А.Ю., Обязов В.А., Кадацкая М.М. История формирования рек южного Приильменья в голоцене // Гидросфера. Опасные процессы и явления. 2019. Т. 1. Вып. 1. С. 90-113. DOI: [10.34753/HS.2019.1.1.001](https://doi.org/10.34753/HS.2019.1.1.001)

Геология СССР. В 48 томах. Том I. Ленинградская, Псковская и Новгородская области. Геологическое описание. / Гл. ред. А.В. Сидоренко. М.: Недра, 1971. 504 с.

Земцов А.А. Основные этапы развития речных долин Западно-Сибирской равнины // История развития речных долин и проблемы мелиорации земель: в 3 кн. Книга 2. Западная Сибирь и Средняя Азия / Отв. ред. Н.А. Флоренсови, В.А. Николаев. Новосибирск: Наука, 1979. С. 82-85.

Квасов Д.Д. Позднечетвертичная история крупных озер и внутренних морей Восточной Европы. Л.: Наука, 1975. 279 с.

Короновский Н.В. Общая геология: учебник. М.: КДУ, 2006. 528 с.

References

Berkovich K.M. *Ruslovye protsessy na rekakh v sfere vliyaniya vodokhranilishch* [Riverbed processes in rivers influenced by reservoirs]. Moscow, Publ. Faculty of Geography MSU, 2012. 163 p. (In Russian; abstract in English).

Geologiya SSSR. V 48 tomakh. Tom 1. Leningradskaya, Pskovskaya i Novgorodskaya oblasti. Geologicheskoe opisanie. [Geology of the USSR. In 48 volumes. Volume 1. Leningrad, Pskov and Novgorod regions. Geological description] / A.V. Sidorenko (ed.). Moscow, Publ. Nedra, 1971. 504 p. (In Russian).

Gorlach A., Hang T., Kalm V. GIS-based reconstruction of Late Weichselian proglacial lakes in northwestern Russia and Belarus. *Boreas*, 2017, vol.46, iss.3, pp. 486-502. DOI: [10.1111/bor.12223](https://doi.org/10.1111/bor.12223).

Hughes A.L.C., Gyllencreutz R., Lohne Ø.S., Mangerud J., Svendsen J.I. The last Eurasian ice sheets – a chronological database and time-slice reconstruction, DATED-1. *Boreas*, 2016, vol. 45, iss.1, pp. 1-45. DOI: [10.1111/bor.12142](https://doi.org/10.1111/bor.12142).

Koronovskii N.V. *Obshchaya geologiya* [General geology]. Moscow, Publ. book house University, 2006. 528 p. (In Russian).

Kvasov D.D. *Pozdnechetvertichnaya istoriya krupnykh ozer i vnutrennikh morei Vostochnoi Evropy* [Late Quaternary history of large lakes and inland seas of Eastern Europe]. Leningrad, Publ. Nauka, 1975. 279 p. (In Russian).

- Маккавеев Н.И. Русло реки и эрозия в ее бассейне. М.: Геогр. фак. МГУ, 2003. 353 с.
- Маккавеев Н.И. *Ruslo reki i eroziya v ee basseine [River bed and erosion in its basin]*. М Moscow, Publ. Faculty of Geography MSU, 2003. 353 p. (In Russian).
- Никонов А.А. С какой скоростью врезаются реки? // Природа. 1971. № 11. С. 79-82.
- Никонов А.А. S kakoi skorost'yu vrezayutsya reki? [What is the speed of the river incision?]. *Priroda [Nature (Russia)]*, 1971, no. 11, pp. 79-82. (In Russian).
- Субетто Д.А. История формирования Ладожского озера и его соединения с Балтийским морем // Общество. Среда. Развитие (Terra Humana). 2007. № 1 (2). С. 111-120.
- Rinterknecht V., Hang T., Gorlach A., Kohv M., Kalla K., Kalm V., Subetto D., Bourlès D., Léanni L., Guillou V. The Last Glacial Maximum extent of the Scandinavian Ice Sheet in the Valday Heights, western Russia: Evidence from cosmogenic surface exposure dating using ¹⁰Be. *Quaternary Science Reviews*, 2018, vol. 200, pp. 106-113. DOI: [10.1016/j.quascirev.2018.09.032](https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2018.09.032)
- Hughes A.L.C., Gyllencreutz R., Lohne Ø.S., Mangerud J., Svendsen J.I. The last Eurasian ice sheets – a chronological database and time-slice reconstruction, DATED-1 // *Boreas*. 2016. Vol. 45. Iss. 1. P. 1-45. DOI: [10.1111/bor.12142](https://doi.org/10.1111/bor.12142).
- Subetto D.A. Istoriya formirovaniya Ladozhskogo ozera i ego soedineniya s Baltiiskim morem [The history of the formation of Lake Ladoga and its connection with the Baltic Sea]. *Obshchestvo. Sreda. Razvitie (Terra Humana) [Society. Environment. Development (Terra Numana)]*, 2007, no 1 (2), pp. 111-120. (In Russian).
- Gorlach A., Hang T., Kalm V. GIS-based reconstruction of Late Weichselian proglacial lakes in northwestern Russia and Belarus // *Boreas*. 2017. Vol. 46. Iss. 3. P. 486-502. DOI: [10.1111/bor.12223](https://doi.org/10.1111/bor.12223).
- Vinogradov A.Yu., Obyazov V.A., Kadatskaya M.M. History of formation of the rivers of south Prilimenum in holotsen. *Hydrosphere. Hazard processes and phenomena*, 2019, vol. 1, iss. 1, pp. 90-113 (In Russian; abstract in English). DOI: [10.34753/HS.2019.1.1.001](https://doi.org/10.34753/HS.2019.1.1.001)
- Rinterknecht V., Hang T., Gorlach A., Kohv M., Kalla K., Kalm V., Subetto D., Bourlès D., Léanni L., Guillou V. The Last Glacial Maximum extent of the Scandinavian Ice Sheet in the Valday Heights, western Russia: Evidence from cosmogenic surface exposure dating using ¹⁰Be // *Quaternary Science Reviews*.
- Zemtsov A.A. Osnovnye etapy razvitiya rechnykh dolin Zapadno-Sibirskoi ravniny [The main stages of development of river valleys of the West Siberian Plain]. In N.A. Florensovi, V.A. Nikolaev (eds.), *Istoriya razvitiya rechnykh dolin i problemy melioratsii zemel': v 3 kn. Kniga 2. Zapadnaya Sibir' i Srednyaya*

2018. Vol. 200. P. 106-113. *Aziya [History of the development of river valleys and land reclamation problems: in 3 books. Book 2. Western Siberia and Central Asia]*. Novosibirsk, Publ. Nauka, 1979, pp. 82-85. (In Russian).
DOI: [10.1016/j.quascirev.2018.09.032](https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2018.09.032)