

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ РАЗРУШЕНИЯ БОБРОВЫХ ПЛОТИН И ОСУШЕНИЯ ПРУДОВ

Д. Е. Клименко, Д. Н. Епончинцева

*Пермский государственный национальный исследовательский университет
Россия, 614990, Пермь, Букирева, 15
E-mail: eponchintsevad@yandex*

Поступила в редакцию 11.02.13 г.

Экспериментальные гидрологические исследования процессов разрушения бобровых плотин и осушения прудов. – Клименко Д. Е., Епончинцева Д. Н. – Бобровые плотины на малых реках существенно изменяют их гидрологический режим. Одним из неблагоприятных последствий разрушения плотин является формирование максимальных прорывных расходов на малых реках, подтопление территорий. На основании обследования 11 плотин и прудов в Верещагинском районе Пермского края, а также на основании картографического моделирования 20 прудов установлены зависимости объема чаши пруда от длины и максимальной высоты плотины, которые могут быть использованы для приближенного определения объемов прудов. При изменении высоты плотин от 0.5 до 3.4 м и длины плотин от 5 до 50 м объем чаши изменяется от 0 до 850 м³. По результатам искусственного разрушения плотин установлены: характер прохождения смоделированных паводков, зависимости гидрологических характеристик от уровней; определены гидрографы стока и объемы стока, характер ложа спущенного пруда. Установлено, что развитие прорана в теле плотин в ширину маловероятно, размыв происходит преимущественно в грунтах берега. Расчетами установлено, что величины натурных прорывных расходов соответствуют максимальным расходам дождевых паводков вероятностью превышения 10%. Натурные прорывные расходы отличаются от рассчитанных по формулам гидравлики на величину 10 – 30%. Величины максимальных расходов в ходе эксперимента достигали 50 – 500 л/с, продолжительность опорожнения прудов изменялась от 100 до 180 минут.

Ключевые слова: малые реки, бобровые плотины, гидрологический режим, дождевые паводки.

Experimental hydrological studies of destruction of beaver's dams and draining ponds. – Klimenko D. E. and Eponchintseva D. N. – Beaver's dams on small rivers significantly alter their hydrological regime. The formation of the maximum break-through expenditures on small rivers and flooding of territories are detrimental consequences caused by destruction of such dams. On the basis of our survey of 11 dams and ponds in the Vereshchaginskiy district (the Perm region), as well as from cartographic modeling of 20 ponds, dependences of the pond bowl volume on the length of the pond and the maximum height of the dam were established, which can be used to estimate an approximate volume of such ponds. When the dam's height changes from 0.5 to 3.4 m and its length changes from 5 to 50 m, the volume of the pond bowl alters from 0 to 850 m³. According to the results of artificial dam destruction, the following facts were established: the passage nature of simulated floods, the dependence of hydrological characteristics on the levels; the hydrograph and volume of the drain and the nature of the deflated pond were estimated. It was also found that the channel development closure in the body of the dams in width is unlike, that erosion mainly occurs in the soils of the coast. Based on calculations, it was revealed that the quantity of natural full-scale breakthrough expenditures was equal to the maximum expenditure of rain floods with a 10% probability of exceeding. The full-scale breakthrough expenditures differ from those calculated by the formulas of hydraulics by 10 – 30%. The maximum expenditure values during our experiment reached 50 to 500 L/s, the duration of ponds emptying varied from 100 to 180 min.

Key words: small river, beaver's dams, hydrology, hydrological regime, rain floods.

ВВЕДЕНИЕ

Естественный гидрологический режим малых рек осложняется влиянием разного рода преград, в том числе бобровых плотин, являющихся наименее изученными.

Наиболее опасными гидрологическими явлениями на водотоках, зарегулированных бобрами, являются разрушение плотин и их прорыв, ведущие к наводнениям ниже по течению, снижению горизонтов грунтовых вод. Разрушению плотин могут способствовать интенсивные осадки, быстрое таяние снега, деятельность животных, падение деревьев и др.

Для изучения этих процессов проводилось искусственное разрушение плотин, выбранных в качестве моделей, и наблюдения за процессами спуска прудов. В России подобного рода исследования ранее не проводились, а гидрологические последствия деятельности бобров почти не изучены.

В литературе некоторые гидрологические, геоморфологические и другие аспекты влияния бобровых плотин на ландшафты и антропогенные объекты прямо и косвенно освещены зарубежными специалистами (Butler, 1989; Woo, Waddington, 1990; Nolet, 1992; Butler, Malanson, 1995, 2005; Burn, McDonnell, 1998; Zahner, 2001; Baker, Hill, 2003; Wright et al., 2004; Hartman, Tömlöv, 2006; Andersen, Shafroth, 2010).

Плотины бобра представляют собой древесно-каменно-земляные сооружения из уложенного определённым образом материала, сцементированного галькой и почвенно-растительными остатками. Размеры плотин для обследованной территории варьируют в зависимости от ширины водотока и напора: длина изменяется от 1.5 до 40 м; ширина верхней части – до 0.7 м, в нижней – до 1.5 м; высота – от 0.7 до 1.7 м.

За плотинами образуются пруды различной площади и формы. По форме зеркала в пределах рассматриваемой территории встречаются пруды русловые и затопливающие пойму. Более подробная классификация прудов по форме зеркала для территории Пермского края разработана Е. А. Савичевым (2010 а, б).

Классификация бобровых плотин по степени их сохранности проводилась по разработанной ранее шкале (Woo, Waddington, 1991), несколько модифицированной применительно к условиям района исследований.

По состоянию выделяются действующие, недействующие и разрушенные плотины. Действующими плотинами называют плотины активные, вблизи которых обитает бобровая семья, ведущая постоянные «гидротехнические работы». Недействующими называют плотины брошенные (в независимости от их возраста), не имеющие следов недавнего ремонта, но продолжающие оказывать влияние на режим водотока. Разрушенными называют брошенные плотины с глубоким прораном, не оказывающие существенного влияния на режим водотока.

Для изучения влияния разрушения плотин на режим малых рек, воздействия преград бобров на движение потока были организованы экспериментальные работы. Их целью являлось изучение процессов разрушения плотин и опорожнения прудов, прохождения прорывных расходов воды ниже плотин, а также сопоставление натурных данных с результатами математического моделирования. Эксперимент проводился на двух бобровых плотинах, расположенных в Верещагинском районе Пермского края, в октябре 2012 г.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Проведение эксперимента предполагало решение следующих задач:

- 1) выяснение времени опорожнения пруда;
- 2) выяснение возможности полного или частичного разрушения плотины (прорыва) в случае экстремальных половодий или паводков на реках рассматриваемой территории;
- 3) выяснение формы и размеров прорана в случае прорыва;
- 4) определение максимальных расходов и уровней воды, скоростей течения в случае прорыва;
- 5) сравнение объема водной массы прудов, определённой методами речной гидрометрии и установленной на основании промерных работ;
- 6) определение параметров волны прорыва и оценка применимости методов гидравлики открытых потоков для ее расчета;
- 7) описание прохождения прорывной волны в случае разрушения верхней плотины каскада прудов;
- 8) изучение явления распластывания прорывной волны и поведения профиля водной поверхности ниже разрушенной плотины.

Обработка результатов эксперимента имела своей целью получение следующих фактических параметров искусственного паводка:

- распределение расходов воды во времени (гидрограф стока);
- зависимостей скорости течения, площади водного сечения, расхода воды, уклона водной поверхности от уровня воды в нижнем бьефе;
- определение объема стока, построение зависимости объема пруда от уровня воды в нем.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Обследование района работ и выбор объектов моделирования. Гидрографические работы проводились в Верещагинском районе Пермского края, на малых водотоках бассейна р. Обва.

Водосборы обследованных водотоков расположены к северу от ж.-д. линии Пермь – Базезино, на участке между станциями Волегово и Бабики. Местность представляет собой всхолмленную равнину, расчлененную врезанными долинами рек и логов (рис. 1). Относительные высоты изменяются от 20 до 50 м, глубина вреза водотоков изменяется от 2 до 5 м. 50 – 70% площади водосборов занимают брошенные поля, на остальной территории произрастают смешанные леса из берёзы и осины в понижениях рельефа и из хвойных пород на водоразделах. Почвы суглинистые и глинистые.

Река Вож, правый приток р. Лысьва, имеет длину 12 км. Обследованные бобровые плотины расположены ниже пруда в с. Волеги, начиная с 9.8 км от устья. Долина реки на обследованном участке извилистая, шириной 15 – 100 м, трапециевидальной формы, с умеренно крутыми склонами, сложенными суглинками и занятыми полями. Нижнюю часть долины занимает сырая закрытая кустарниковая, значительно захламленная пойма шириной около 50 м. Поверхность поймы неровная, с многочисленными валами, хатками бобра. Рельеф поймы изменен деятельностью бобра. Извилистое русло реки шириной 1 – 3 м, глубиной 0.1 – 0.3 м,

скорости течения – от 0.1 до 0.2 м/с. Дно песчаное, местами песчано-илистое. Берега топкие, на отдельных участках – обрывистые подмываемые.

Река Меленка, левый приток р. Вож, имеет длину 5.9 км. Бобровые плотины расположены на 2-километровом отрезке в истоках реки. Здесь долина реки извилистая, трапецидальной формы, шириной 50 – 70 м, с крутыми безлесными скло-

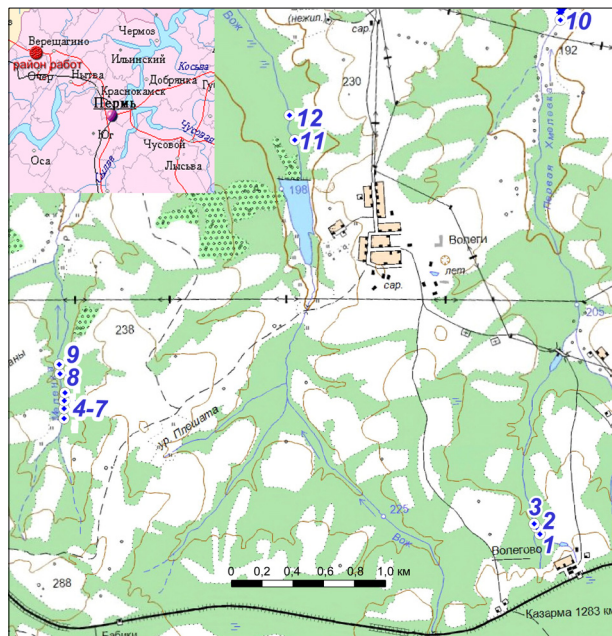


Рис. 1. Схема района работ и местоположения плотин

ным лесом. Дно долины занимает каскад из трех прудов. Ниже по течению, в районе пруда № 10, долина сохраняет трапецидальную форму, но ширина ее увеличивается до 100 м, склоны становятся пологими, практически безлесными, высотой до 2 м. Непосредственно к склонам долины примыкают поля. Дно долины заболочено, покрыто кустарником, занято многочисленными бобровыми плотинами и каналами.

Основные гидрографические характеристики обследованных водотоков в створах плотин приведены в табл. 1. Эксперимент проводился на плотинах № 6, 7, расположенных на р. Меленка и действующих в каскаде.

Для определения морфометрических характеристик плотин и прудов применялась методика, разработанная авторами (Епончинцева, Клименко, 2013).

1. Выполнялся обход прудов по береговой линии с GPS-навигатором с включенной функцией записи маршрута или облегченная буссольная съемка. Плановые очертания прудов уточнялись по космоснимкам, привязанным к используемым геодезическим системам координат (СК-42).

нами высотой 3 – 5 м. Осинники тянутся узкой полосой выше бровки склона, отделяя долину от прилегающих к ней полей. Пойма открытая, сырая, шириной около 30 м с многочисленными каналами, протоками и валами бобровых плотин.

Река Хмелевка, правый приток р. Лысьва, берет начало на высоте 260 м, имеет длину 12.3 км. После слияния с правобережным притоком в районе с. Ниж. Гаревские (10.6 км от устья) носит название 1-я Хмелевка. В районе прудов № 1 – 3 долина реки извилистая, трапецидальной формы, шириной около 70 м. Склоны крутые, высотой до 7 м, покрыты смешан-

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

2. Промеры глубин прудов проводились с использованием резиновых лодок и гидрокостюмов, по заранее разбитым поперечникам, обозначенным вехами. Координаты промерных точек отмечались с помощью GPS-навигатора или угловых засечек буссолью. Промеры производились стандартной гидрометрической штангой.

3. Длина и ширина бобровых плотин измерялась мерной лентой, высота – путем нивелировки.

Таблица 1

Гидрографические характеристики обследованных водотоков в створах плотин

№ плотины	Дата обследования	Сведения о водотоке						
		Название	Расстояние от устья, км	Характеристики водосбора				
				Площадь, км ²	Средний уклон, промилле		Длина, км	
					русла	водосбора	водотока	притоков
1	14.10	р. Хмелевка	1.41	0.38	158.0	51.1	0.37	0.36
2	14.10	р. Хмелевка	1.41	0.38	42.0	51.1	0.37	0.36
3	14.10	р. Хмелевка	1.41	0.38	138.0	51.1	0.37	0.36
4	15.10	р. Меленка	4.48	1.17	46.7	97.3	0.92	0.69
5	15.10	р. Меленка	4.45	1.19	41.4	97.3	0.95	0.69
6	15.10	р. Меленка	4.34	1.20	49.0	97.3	1.06	0.69
7	15.10	р. Меленка	4.25	1.30	20.7	94.3	1.15	0.69
8	15.10	р. Меленка	4.22	1.35	60.9	94.3	1.18	0.69
9	15.10	р. Меленка	4.21	1.43	44.8	94.3	1.19	0.69
10	16.10	р. 1-я Хмелевка	9.94	6.75	7.69	71.2	4.07	3.81
11	14.10	р. Вож	9.91	6.91	6.63	68.7	4.16	2.93
12	16.10	р. Вож	9.80	7.10	9.17	68.7	4.16	2.93

Примечание. Жирным шрифтом выделены плотины, на которых производились экспериментальные работы.

В результате анализа полевых материалов выбрано 2 наиболее репрезентативных объекта на р. Меленка (плотины № 6, 7 в табл. 2) для проведения экспериментальных исследований. Батиметрические планы прудов, построенные на основании промерных работ, представлены на рис. 2.

Этапы экспериментальных работ. 1. Поиск бобровых плотин производился путем маршрутного обследования малых рек, благоприятных для расселения бобра по ряду критериев. Сведения о критериях рек, на которых вероятно появление плотин, представлены в работе авторов статьи (Епончинцева, Клименко, 2013).

2. Подготовка к проведению эксперимента состояла из разбивки гидрометрического створа на реке ниже плотины, временных уровнемерных пунктов и устройства временного поста; подготовки приборов к измерению скоростей на стрежне потока; нивелировки исходных уровней воды в пруду и в реке во всех пунктах. Эксперимент проводился в единой системе отсчета времени с точностью до 1 минуты и в условной системе высот, принятой при нивелировке, с точностью до 1 мм. Отметке исходного уровня воды в пруду придавалось значение 100.000 м усл.

Таблица 2

Параметры бобровых плотин и прудов района исследований

№ плотины	Название водотока	Параметры плотины					Параметры пруда							
		Длина, м	Высота максимальная, м	Длина Высота	Состояние	Материал постройки	Объем чаши, м³	Площадь зеркала, м²	Глубина, м		Длина, м	Ширина, м		Длина береговой линии, м
									Средняя	Наибольшая		Средняя	Наибольшая	
1	р. Хмелевка	13	1.09	11.9	Д	Ветви, ил, глина	29.9	44.0	0.68	0.90	7	6.38	13	18.8
2	р. Хмелевка	27	3.30	8.18	Д	Ветки, доски, ил, глина	840	1093	0.77	2.20	79	13.9	41	245
3	р. Хмелевка	12	1.65	7.27	Д	Ветви, ил	26.0	34.7	0.75	1.10	12	2.89	12	40.0
4	р. Меленка	7.5	0.70	10.7	Д	Мелкие ветви, кора, ил, глина, кора	10.8	31.5	0.34	0.50	15	2.10	8.0	33.9
5	р. Меленка	9.0	1.20	7.50	Д	Ветви, глина.	75.0	204	0.37	0.90	29	7.03	14	77
6	р. Меленка	45	2.50	18.0	Д	Ветви, ил, глина, поваленные деревья	800	374	2.10	2.50	51	7.33	22.0	243
7	р. Меленка	6.0	1.20	5.00	Д	Ветви	144	803	0.18	0.90	58	13.8	30.9	285
8	р. Меленка	30	2.20	13.6	Нд	Ветви, трава	241	567	0.43	1.00	36	15.7	30	116
9	р. Меленка	30	3.00	10.0	Д, Р	Ветки, бревна, ил, глина, трава	201	335	0.60	0.75	67	5.00	25	86.3
10	р. Первая Хмелевка	33	0.70	47.1	Д	Глина, ил, мелкие ветви	250	1200	0.21	0.70	91	13.19	34	631
11	р. Вож	15	1.2	12.50	Д	Ветки, ил, глина	1374	2271	0.61	1.00	181	6.30	55	2271
12	р. Вож	30	1.1	27.27	Д	Ветви, ил	195	953	0.21	0.90	120	7.94	27	270

Примечание. Жирным шрифтом выделены плотины, на которых производились экспериментальные работы; Д – действующая, Нд – недействующая, Р – разрушенная.

3. Для искусственного разрушения (устройства прорана) плотина предварительно очищалась от наваленных веток, травы. После этого часть плотины, примыкающая к области максимальных глубин в пруду, расшатывалась прочной деревянной жердью, что приводило к усилению фильтрации через тело плотины. Затем в этом месте прорубалась узкая прорезь на максимально возможную глубину, из прорези вынимались крупные ветки и ил; поток воды приводил к расширению прорези и формированию прорана эллиптической формы. С момента начала усиленной фильтрации работы по устройству прорана занимали 1 – 3 минуты.

4. Наблюдения на временных гидрологических постах в нижнем и верхнем бьефах плотины производились с момента начала разрушений и включали непрерывную фиксацию уровней воды и поверхностных скоростей течения.

Измерения скоростей течения производились на одной скоростной вертикали (на стрежне потока) гидрометрической вертушкой ИСП-1 с преобразователем сигналов в предварительно намеченных гидрометрических створах ниже плотин, за пределами зоны повышенной турбулентности потока. Измерения уровней воды велись на 4 временных уровнемерных постах, разбитых ниже плотины через интервалы, равные 2 – 3 ширинам потока. Временные посты – это забитые в дно ручья колья с вехами-сторожками. Для фиксации высших уровней вехи покрывались мелом, после прохождения прорывной волны метки высоких вод нивелировались. Фактические уровни измерялись переносной водомерной рейкой ГР-104 по кольям. Для нивелирных работ использован нивелир Sokkia C-3-30 и рейка РН-3000. В проведении эксперимента участвовали два человека (авторы статьи).

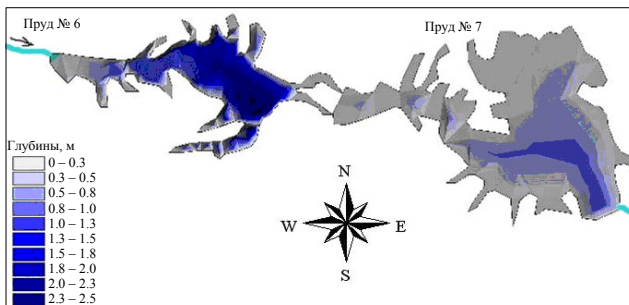


Рис. 2. Батиметрические схемы прудов № 6 и 7 на р. Меленка

Наблюдениями охватывалась вся волна искусственного паводка, вплоть до возвращения уровня воды в реке на начальную отметку и полного опорожнения пруда до отметки дна прорана. При прохождении искусственного паводка через каскад прудов (от плотины № 6 к плотинам № 7 – 9) ниже разрушаемой плотины дополнительно велись визуальные наблюдения за прохождением волны прорыва, размывом плотин и переполнением прудов.

5. Комплекс измерений после прохождения «волны прорыва» включал в себя: нивелировку поперечного профиля гидроствора, меток высоких вод, фактического уровня воды в пруду; визуальный осмотр ложа опорожненного пруда и следов прохождения искусственного паводка ниже разрушенной плотины; измерение параметров искусственного прорана.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты обследования водотоков. Было выполнено обследование 12 плотин и прудов (см. табл. 2). На основании собранных полевых материалов получены расчетные зависимости объема чаши пруда от длины и максимальной высоты плотины, которые могут быть использованы для приближенного определения объемов бобровых прудов, расчета высших уровней ручьев в зоне подпора, прорывных расходов ниже плотин (рис. 3).

Результат эксперимента. После опорожнения прудов были выполнены обмеры образовавшихся в плотинах проранов (рис. 4, табл. 3).

Установлено, что тело плотины сложено достаточно прочно, каркас из веток в ее теле удерживает частицы минерального грунта, осложняя развитие прорана в

ширину, и полностью препятствует развитию прорана в глубину. В плотинах, расположенных ниже разрушаемой, формирование проранов наблюдалось лишь в районах примыкания плотин к берегу; тело плотин лишь частично размывалось по всему напорному фронту.

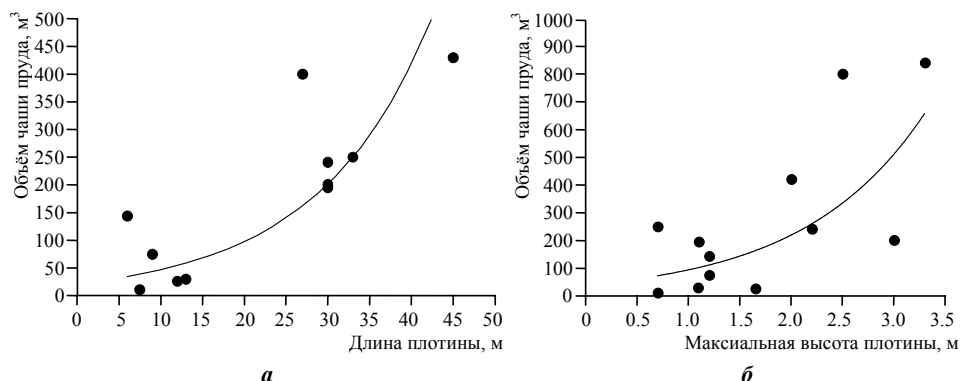


Рис. 3. Зависимости объёма пруда от длины (а) и высоты (б) плотин

Материалы наблюдений за прохождением прорывной волны обработаны методами речной гидрометрии (Лучшева, 1983). Полученные эмпирические зависимости и гидрографы стока представлены на рис. 5 – 7, где H – уровень воды, м усл.; F – площадь водного сечения, м²; v – скорость течения, м/с; Q – расход воды, м³/с.



Рис. 4. Проран в теле плотины № 6 (вид со стороны нижнего бьефа)

На основании построенных гидравлических кривых, используя значения наблюдаемых уровней воды, построены гидрографы стока, подсчитан суммарный объем стока по каждому пруду, равный объему его водной массы (рис. 8). Совместный анализ графиков хода уровней воды в верхнем и нижнем бьефах позволил перейти от гидрографов стока к интегральным кривым объемов стока по времени, на основании которых

через соответственные уровни (в пруду и в реке, определенные в один момент времени) определены параметры кривых объемов прудов и рассчитаны объемы водной массы прудов при разных уровнях (рис. 9).

Анализ наблюдаемых при спуске прудов гидрографов позволил сделать следующие выводы.

Таблица 3

Параметры проранов при разрушении бобровых плотин

Характеристика прорана	Плотина № 6	Плотина № 7
Ширина поверху, см	70	56
Ширина понизу, см	30	18
Глубина прорана, см	90	83
Глубина воды в проране, см	90	95
Глубина перед плотиной до прорана, см	60	110
Начальная отметка пруда, м усл.	100.00	100.00
Отметка в конце эксперимента, м усл.	99.54	99.28
Гребень плотины, м усл.	99.96	100.00
Низ прорана, м усл.	99.13	99.17

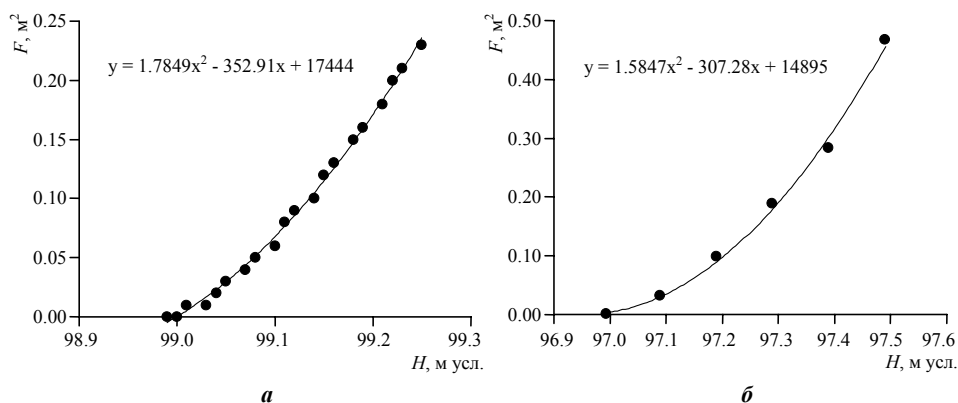


Рис. 5. Кривая зависимости $F = f(H)$ для эксперимента № 1 (а) и № 2 (б)

1. По форме гидрографы напоминают естественные дождевые паводки.
2. При истечении воды через проран наблюдается неустановившийся режим течения, т.е. уклоны водной поверхности на подъеме и на спаде неодинаковы (в

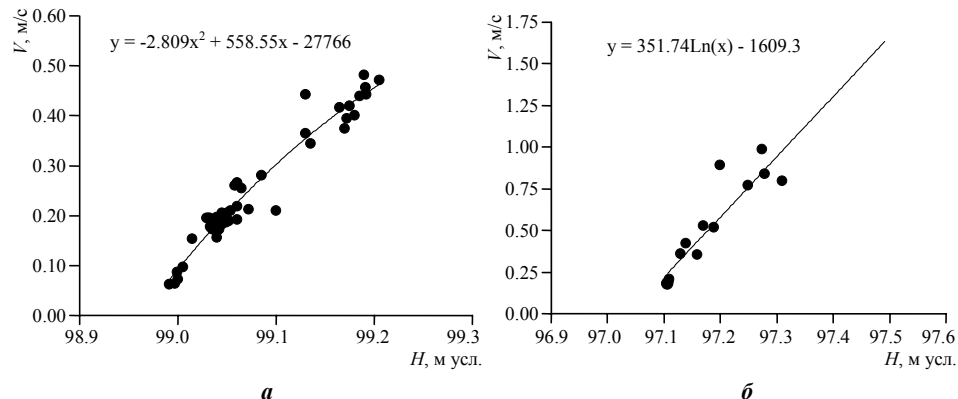


Рис. 6. Кривая зависимости $v = f(H)$ для эксперимента № 1 (а) и № 2 (б)

эксперименте № 2 на подъеме – 8‰, на спаде – 1.88‰, в эксперименте № 1 53.2 и 43.4‰ соответственно).

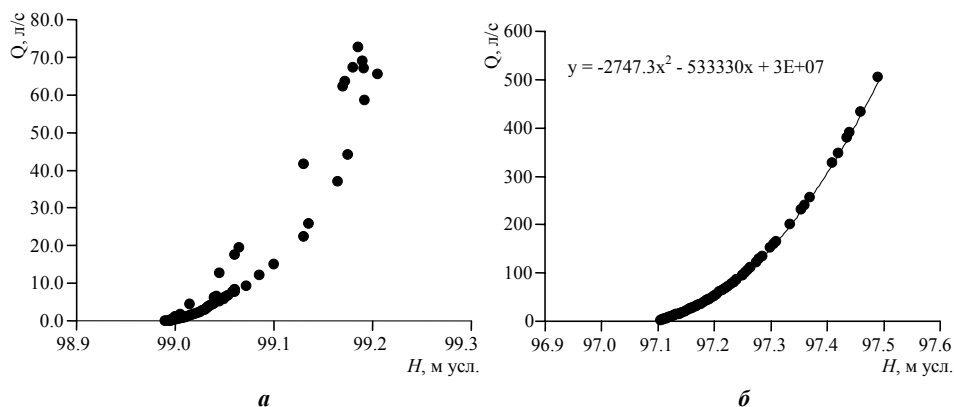


Рис. 7. Кривая зависимости $Q = f(H)$ для эксперимента № 1 (а) и № 2 (б)

3. Истечение жидкости через проран описывается гидравлическим уравнением истечения жидкости через незатопленный плоский водослив при ряде допущений. Режим течения жидкости в открытом водном потоке ниже прорана на каждой ветви гидрографа с поправками на неравенство уклонов водной поверхности во времени можно описать уравнением А. Шези. Ниже прорана в начальной стадии спуска пруда формируется область гидравлического прыжка.

4. По мере потери напора воды в пруду скорость истощения его водных запасов снижается, что описывается параболаобразной ветвью спада на гидрографе.

5. Независимо от формы и размеров прорана, а также запасов водной массы водохранилища гидрографы одновершинные. На прохождение пика гидрографа расходуется 15 – 20% времени полного опорожнения пруда. Время полного опорожнения прудов изменяется от 100 до 160 мин. Максимальные расходы достигают 50 – 500 л/с, превышая естественные фильтрационные расходы до разрушения плотины.

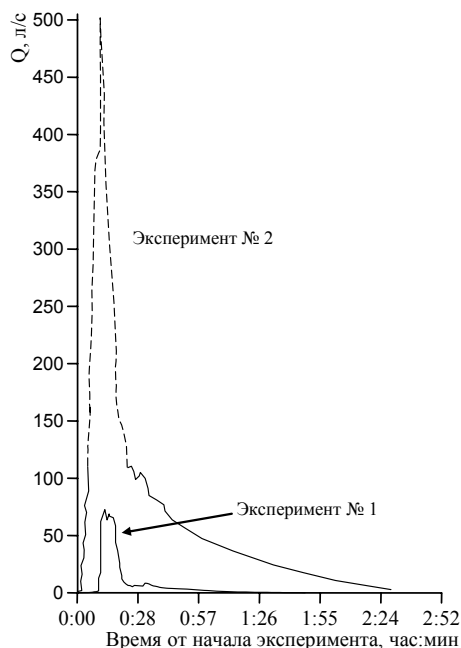


Рис. 8. Гидрографы стока при прохождении волны прорыва

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

6. Максимальной величины расход воды в нижнем бьефе достигает не в момент разрушения плотины, а по истечении некоторого времени, необходимого на развитие прорана и заполнения русла ручья ниже плотины.

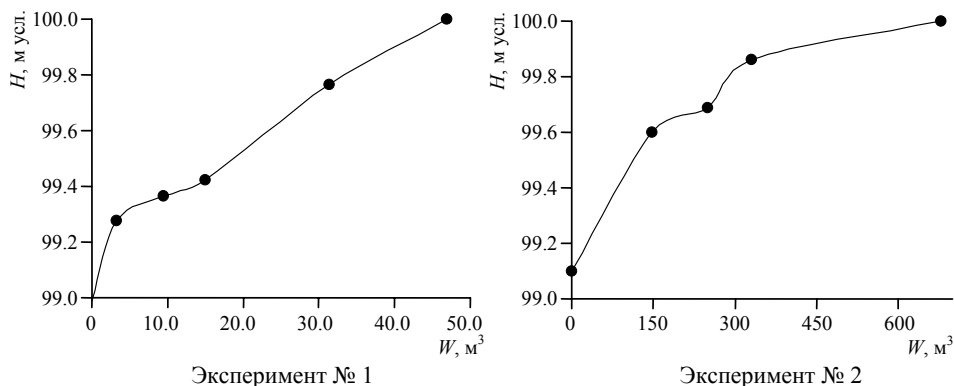


Рис. 9. Кривые истощения объёмов водной массы прудов (H – уровень воды в пруду, м усл.; W – объём водной массы, м^3)

По окончании экспериментальных работ выполнено сопоставление естественных максимальных расходов водотоков (в случае отсутствия плотин) с прорывными расходами воды, определенными экспериментально и рассчитанными методами речной гидравлики для водосливов (табл. 4). Естественные максимальные расходы воды определены по редуccionным формулам, с использованием региональных гидрологических карт и метода гидрологической аналогии, по формуле типа III для дождевых паводков, в соответствии с пп. 7.44 – 7.49 СП-33-101-2003 «Свода правил...» (2004) и «Ресурсами поверхностных вод СССР» (1973); прорывные расходы рассчитаны по методу С. Я. Школьников (Методические рекомендации..., 1981).

Таблица 4

Расходы воды р. Меленка, определенные разными способами

Характеристика	Плотина № 7	Плотина № 6
Естественный максимальный расход дождевого паводка ($\text{м}^3/\text{с}$) обеспеченностью P , %	$P = 1\%$	$Q_{1\%} = 1.17$
	$P = 10\%$	$Q_{10\%} = 0.46$
	$P = 25\%$	$Q_{25\%} = 0.35$
Расчётный максимальный прорывной расход, $\text{м}^3/\text{с}$	$Q_1 = 0.42$	$Q_2 = 0.59$
Наблюдённый максимальный прорывной расход, $\text{м}^3/\text{с}$	$Q_1 = 0.075$	$Q_2 = 0.52$

ВЫВОДЫ

1. При опорожнении прудов вследствие частичного разрушения плотин формируется прорывная волна, схожая с гидрографом дождевого паводка. Характеризуется крутой ветвью подъема и более плавной ветвью спада, представляющей собой кривую истощения запасов водной массы пруда. Режим истечения воды не-

установившийся, т.е. уклоны водной поверхности на ветви подъема гидрографа превышают уклоны на спаде.

2. В случае каскадного расположения плотин и разрушения верхней по течению через нижележащие плотины вода переливается широким фронтом; возможны разрушения в районе примыкания плотины к берегу.

3. Объем водной массы прудов, определенный при подсчете стока методами речной гидрометрии, несколько ниже объема, определенного по батиметрических планам прудов: для пруда № 6 – на 13%, для пруда № 7 – на 50%. Несоответствие может быть связано с неполным спуском водной массы ниже порога прорана, с наличием илов на дне, задержанием воды в каналах и прибрежной растительности.

4. Сама плотина сложена довольно плотно, из пересекающихся прутьев и ветвей с прослойками глины, что обуславливает невозможность ее полного разрушения и развития прорана на всю ширину.

5. Построенные гидрографы стока и кривые истощения объемов воды в пруду показывают, что одномоментный спуск прудов невозможен. Максимальные расходы воды в нижнем бьефе, параметры волны прорыва, высшие уровни и время полного опорожнения прудов будут зависеть от высоты плотины, уклона водной поверхности, напора и параметров прорана.

6. Прорывные расходы при разрушении плотин соответствуют естественным максимальным дождевым расходам обеспеченностью $P = 10\%$. Наблюдаемые прорывные расходы близки к расчетным значениям, определенным методами речной гидравлики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Епончинцева Д. Н., Клименко Д. Е. К оценке влияния бобровых плотин на эксплуатацию водопропускных сооружений под насыпями автомобильных дорог // Инженерные изыскания. 2013. № 3. С. 68 – 72.

Лучишева А. А. Практическая гидрометрия : учеб. пособие для вузов по спец. «Гидрология суши» : 2-е изд., перераб. и доп. Л. : Гидрометеиздат, 1983. 423 с.

Методические рекомендации по определению расходов воды при проектировании переходов через водотоки в зоне воздействия некапитальных плотин. М. : Изд-во ЦНИИС Минтрансстроя СССР, 1981. 17 с.

Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 11. Средний Урал и Приуралье. Л. : Гидрометеиздат, 1973. 873 с.

Савичев Е. А. Многообразие и структура поселений на водотоках заповедника «Вишерский». Пермь : Изд-во Перм. гос. ун-та, 2010 а. С. 120 – 125.

Савичев Е. А. Результаты инвентаризации поселений бобра (*Castor fiber*) в заповеднике «Вишерский». Пермь : Изд-во Перм. гос. ун-та, 2010 б. С. 126 – 134.

Свод правил по проектированию и строительству. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. СП 33-101-2003. М. : Стройиздат, 2004. 74 с.

Andersen D. C., Shafroth P. B. Beaver dams, hydrological thresholds, and controlled floods as a management tool in a desert riverine ecosystem, Bill Williams River, Arizona // Ecohydrology. 2010. Vol. 3, № 3. P. 325 – 338.

Baker B. W., Hill E. P. Beaver (*Castor canadensis*) // Wild Mammals of North America : Biology, Management, and Conservation / eds. G. A. Feldhamer, B. C. Thompson, J. A. Chapman. Baltimore : The Johns Hopkins University Press, 2003. P. 288 – 310.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Butler D. R. The failure of beaver dams and resulting outburst flooding : a geomorphic hazard of the southeastern Piedmont // *The Geographical Bul.* 1989. Vol. 31. P. 29 – 38.

Butler D. R., Malanson G. P. Sedimentation rates and patterns in beaver ponds in a mountain environment // *Geomorphology.* 1995. Vol. 13. P. 255 – 269.

Butler D. R., Malanson G. P. The geomorphic influence of beaver dams and failures of beaver dams // *Geomorphology.* 2005. Vol. 71. P. 48 – 60.

Burn D. A., McDonnell J. J. Effects of beaver pond on runoff processes : comparison of two headwater catchment // *J. of Hydrology.* 1998. Vol. 205. P. 348 – 264.

Hartman G., Törnlov S. Influence of watercourse depth and width on damming behavior by Eurasian beaver (*Castor fiber*) // *J. of Zoology.* 2006. Vol. 268. P. 127 – 131.

Nolet B. A. Reintroduction of beaver in the Rhine and Meuse estuary // *Semiaquatische Säugetiere : 2 Internationalien symposiums* / eds. R. Schropfer, M. Stubbe, D. Heidecke. Halle : University of Halle, 1992. P. 130 – 140.

Woo M. K., Waddington J. M. Effects of beaver dams on subarctic wetland hydrology // *Arctic.* 1990. Vol. 43, № 3. P. 223 – 230.

Wright J. P., Gurney W. S. C., Jones C. G. Patch dynamics in a landscape modified by ecosystem engineers // *Oikos.* 2004. Vol. 105, № 2. P. 336 – 348.

Zahner V. Dam building by beaver (*Castor fiber*) and its impact on forest stands in South Germany // *Proc. of the First Euro-American Beaver Congress / Transaction of Volga-Kama National Nature Zapovednik.* Kazan, 2001. P. 119 – 126.