

УДК 627.41

ПУТИ РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ ВЫСОКОМУТНЫХ ГОРНЫХ РЕК

Мамедов А.Ш. – д.т.н., профессор,
Азербайджанский научно-исследовательский
институт гидротехники и мелиорации

Гулиев Ш.Ш. – к.т.н.,
Азербайджанский научно-исследовательский
институт гидротехники и мелиорации

Мустафаев М.Е. – докторант,
Азербайджанский научно-исследовательский
институт гидротехники и мелиорации

Статья посвящена путям решения проблемы рационального использования водных ресурсов высокомутных горных рек. Проведен анализ технических и эксплуатационных показателей водохранилищ, сооруженных на горных реках, характеризующихся высокой мутностью, и исследованы мероприятия по борьбе с заилением водохранилищ. Были исследованы вопросы, связанные со строительством водохранилищ вне русла реки для предотвращения и профилактики заиления водохранилищ. С целью использования высокомутных вод предложен вариант строительства водоприемника-водохранилища, способного частично регулировать и отстаивать наносы в русло реки. С целью удаления осаждённых в водоприемнике-водохранилище наносов разработано сооружение гидравлической промывки. Определены гидротехнические и гидравлические параметры и дан принцип работы промывного сооружения.

Ключевые слова: горные реки, водные ресурсы, наносы, гидравлическая крупность, водохранилище, водосливная плотина, водазабор, затвор, направляющие стены.

Mammadov A.Sh., Guliyev Sh.Sh., Mustafayev M.E. Ways of rational use of water resources of high-mountain mountain rivers

The article is devoted to ways of solving problems, rational use of water resources of high-mountainous rivers. The analysis of technical and operational indicators of reservoirs constructed on mountain rivers characterized by high turbidity and the measures taken to combat the accumulation of reservoirs are analyzed. Issues related to the construction of reservoirs outside the river bed and the prevention of the silting of reservoirs was investigated.

In order to use high-pressure water, a variant of the water reservoir-reservoir construction is proposed, which is able to partially regulate and defend from the sediment flow into the river bed. In order to remove sediment water intake reservoir sediment, a hydraulic washing structure was developed. Hydro technical and hydraulic parameters were determined and the operating principle of the washing facility was given.

Key words: mountain rivers, water resources, deposits, hydraulic size, reservoir, spillway dam, water intake, gate, guiding walls.

Постановка проблемы. В последнее время ускорение процесса включения плодородных земель у подножья гор в посевной оборот повлекло за собой необходимость более широкого использования водных ресурсов горных рек. Как правило, для рационального использования водных ресурсов горных рек в русле рек строят водохранилища, позволяющие регулировать объём в течение года или нескольких лет. Опыт эксплуатации построенных в мире за последние 70–80 лет водохранилищ показывает, что сооруженные на многих горных реках водохранилища вследствие заиления за короткое время теряют свой полезный объём и становятся непригодными к эксплуатации. Во время забора воды из такого типа водохранилищ в системы водного хозяйства вместе с

водой поступают наносы из потока. Наносы вызывают заиление систем водного хозяйства и усложняют процесс эксплуатации. В целом наносы речных вод вызывают заиление водохранилища, уменьшают их полезный объем, сокращают срок службы, усложняют эксплуатацию водозаборного узла, уменьшают водопропускную способность каналов вследствие их заиления.

Меры по борьбе с заилением водохранилищ в основном носят пассивный характер, т.е. после заиления водохранилища проводится гидравлическая промывка или удаление ила гидромеханическим путем. Из-за затвердения ила в водохранилище использование этих способов сопровождается потерей большого количества воды и считается неэффективным с экономической точки зрения.

Изложение основного материала исследования. В основном в мире, в том числе в странах Средней Азии и в Азербайджане, многие из построенных водохранилищ, не завершив предусмотренный для них срок эксплуатации, прекращают свою деятельность вследствие заиления. В Соединенных Штатах Америки ежегодно 1,2 млрд тонн наносов вызывают заиление водохранилищ, в китайской провинции Шанхай этот показатель равен 80 млн м³. В Японии водохранилища в течение года теряют 2%, в Индии и Португалии – 1% полезного объема в результате заиления [5].

Водоохранилище Khashm Roseires в республике Судан за первое десятилетие эксплуатации в результате заиления потеряло 50–55 млн м³ объема, то есть примерно 60%. Объем водохранилищ Qarrison, Saxe, Форт в Соединенных Штатах Америки за год в результате интенсивного заиления уменьшается на 30–45 млн м³. Большинство водохранилищ, расположенных на горных реках, протекающих через территорию Северного Кавказа и Средней Азии, в течение 5–10 лет потеряло объемы на 70–90% [5].

В качестве примера наиболее подверженных заилению в Азербайджанской Республике можно привести Пирсаатчайское, Болгарчайское, Джаванширское, Джейранбатанское и Айричайское водохранилища. Водоохранилище Айричай, сданное в эксплуатацию в 1986 г. с полезным объемом 80 млн м³ к 2016 г. заилено на 80%. Построенные в 1964–1965 гг. водохранилища Пирсаатчай и Болгарчай в целом приостановили свою деятельность из-за заиления (рис. 1). Основной причиной быстрого заиления всех этих водохранилищ является повышенная мутность реки и отсутствие превентивных мер во время эксплуатации. На территории Азербайджанской Республики имеется несколько горных рек с повышенной мутностью, водные ресурсы которых по этой причине рационально не используются. В качестве примера можно назвать реки Сумгаитчай, Гозлучай, Тюрьянчай, Джейранкечмез, Гарачай, Гирдыманчай, приток Гобучай в Геокчае.

Относительно многоводной, но и очень мутной среди этих рек является Гирдыманчай. В настоящее время водные ресурсы реки Гирдыманчай разрозненно используются лишь в небольшом объеме.

Причиной этого является высокая степень мутности воды в этой реке и прохождение частых разрушительных селей. Попытки сооружения водохранилища на этой реке были предприняты несколько раз, однако по вышеназванным причинам строительные работы так и не начинали.



*Рис. 1. Водохранилище Пирсаатчай,
построенное в 1964 г., объемом 16,9 млн м³ (2017 г.)*

Отчёты о прогнозировании заиления водохранилищ и развёрнутые исследовательские труды в области их предотвращения были проведены С.Т. Алтуниным, Н.Ф. Лапшенковым, Г.И. Шамовым, Д.И. Мухаммедовым, Д.Й. Гвелесиани, В.А. Скрыльниковым, Г.Т. Маджарадзе, Ф.Б. Башировым и А.Ш. Мамедовым на реках Средней Азии и Южного Кавказа [5; 7; 10].

В.А. Скрыльников провел широкие исследования, связанные с динамикой заиления сооруженных на территории Средней Азии водохранилищ и с технологией устранения наносов. Он предложил удаление осажденного в долине водохранилища ила гидромеханическим способом с применением землесосной установки. Следует отметить, что данный метод очистки является целесообразным для регионов с малым объемом водных ресурсов.

Г.Т. Маджарадзе исследовал причины заиления многих водохранилищ, построенных на территории Грузинской Республики, и предложил следующий метод промывки осевших в водохранилище наносов (рис. 2). В предложенном Г.Е. Маджарадзе методе в верхней части водохранилища в русле реки было создано регулирующее сооружение. С целью контроля над потоком реки на сооружении были установлены затворные шлюзы, управляемые подъемным краном. Принцип работы установки выглядит следующим образом. Первоначально на отложении копаются пионерные траншеи 11, 12, 13 для промывки канала (рис. 2). Вначале затворы под номерами 6 и 8 держат закрытыми. При открытии затвора номер 7 вода подается в направлении канала 12 и промываемые илистые отложения удаляются с помощью отверстия донного водосброса 3. На следующем этапе донный водосброс 3 закрывается и в промытом частично канале 12 набирается вода. В это время, определенная часть отложений смываясь с верхних частей (откосов), скатывается на дно и устраняется с помощью донного водосброса 3. Затем по очереди открываются другие затворы, и по указанным в этом направлении каналам, промывается отложение. У предложенного метода есть нижеизложенные недостатки:

- для промывки отложений водохранилище должно быть полностью опустошено, что приводит к большим потерям воды;
- из-за невозможности вывода механизма на поверхность отложений строительство пионерной траншеи невозможно;
- из-за невозможности направления промывного потока на иловые отложения эффективность промывки уменьшается, потери воды увеличиваются;
- после прохождения через установленный на входе в водохранилище шлюз и в дальнейшем направляемый речной поток через определенную дистанцию

ницію присоединяется к первоначально возникшему эрозийному оврагу и охватывает малую часть образованного внутри водохранилища участка отложений;

– во время процесса промывки в течение следующих лет нет возможности выйти за пределы, образованного на ранних этапах эрозийного оврага, и при этом может быть очищена лишь небольшая часть водохранилища;

– если при промывке на начальном этапе повышенную мутность можно наблюдать в течение короткого отрезка времени, то при продолжении процесса мутность в промывном потоке резко уменьшается, что сопровождается потерей больших объемов воды.

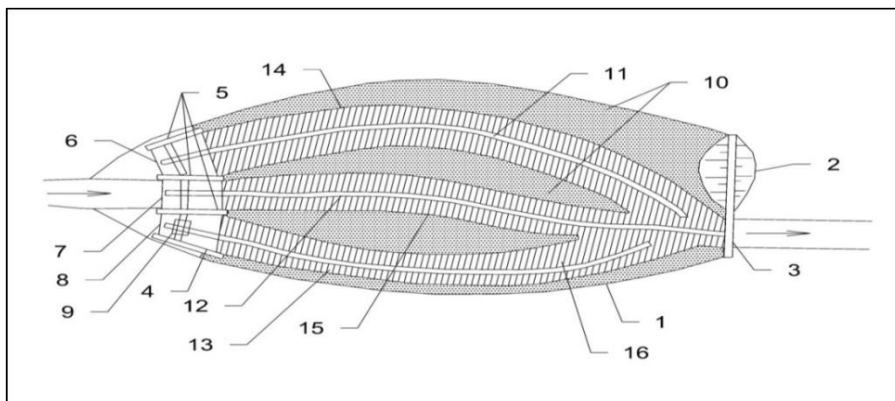


Рис. 2. Схема промывка, наносных отложений из водохранилища гидравлическим способом

1 – водохранилище, 2 – плотина, 3 – донный водосброс, 4 – регулирующий шлюз, 5 – направляющие стены, 6, 7, 8 – затворы, 9 – подъемный механизм для управления затворами, 10 – илистые отложения, 11, 12, 13 – эрозийные овраги, возникшие после промывки, 14, 15, 16 – соответственно, возникшие после промывки островки.

Ф.Б. Баширов провел обширное исследование касательно промывки отложений в Сиязанском водохранилище объемом 6,6 млн м³, построенном на Самур-Абшеронском канале Азербайджанской Республики, с целью предотвращения заиления канала предложил новый метод для интенсификации процесса промывки (рис. 3).

Ф.Б. Баширов для промывки отложений из Сиязанского озерного отстойника предлагает устроить вдоль берегов бассейна в направлении плотины промывной канал. На промывном канале устраиваются специальные вырезы и устанавливаются затворы для подведения промывной воды. Вода в канал подводится с помощью регулирующих затворов номер 9, 11 и 14. Промывка осуществляется с помощью расположенных на канале вырезов и дополнительным пропуском воды через шлюзы номер 10 и 13. Промывная вода при этом методе, в отличие от предыдущего, частично контролируется. Однако и в этом методе вода, используемая при последующих промывках, проходя короткую дистанцию, сливается в эрозийные овраги, образованные при предыдущих промывках, и часть объема в виде островков остается непромытой.

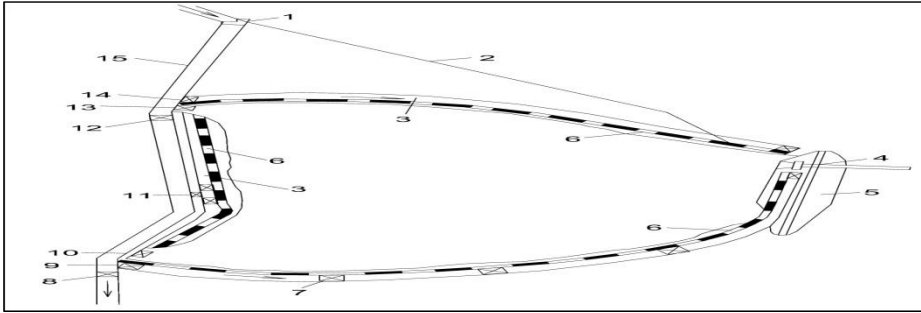


Рис. 3. План Сязанського водохранилища і промивна установка

1 – шлюз, 2 – підводячий канал, 3 – промивний канал, 4 – впускне спорудження, 5 – плотина, 6 – впускні вирізи на промивному каналі, 7, 8 і 12 – затвори, 9, 10, 11, 13 і 14 – регулюючі перегородки/шлюзи, 15 – Самур-Абшеронський канал.

В отличие от существующих методов А.Ш. Мамедов предлагает бороться с заилением в процессе эксплуатации водохранилища. Он предложил новое конструктивное решение для сброса наиболее мутных паводковых и селевых потоков транзитом в нижний бьеф водохранилища. При таком подходе поступающий из реки в водохранилище более мутный поток, не смешиваясь с собранной в водохранилище чистой водой, выпускается в нижний бьеф. Для того чтобы наиболее мутные потоки, не оседавая в водохранилище, транзитом проходили в нижний бьеф, оголовок поверхностного водосброса с помощью специального сбросного тоннеля «перемешается» в начало водохранилища. Водосбросная башня обеспечивается несколькими промывными окнами, которые позволяют сбрасывать поступающие из реки более мутные потоки в нижний бьеф при различном уровне водохранилища, что позволяет избежать заиления водохранилища во время эксплуатации. Предлагаемый комплекс сооружений считается целесообразным для средних (длина 2–3 км), но глубоких водохранилищ [11] (рис. 4).

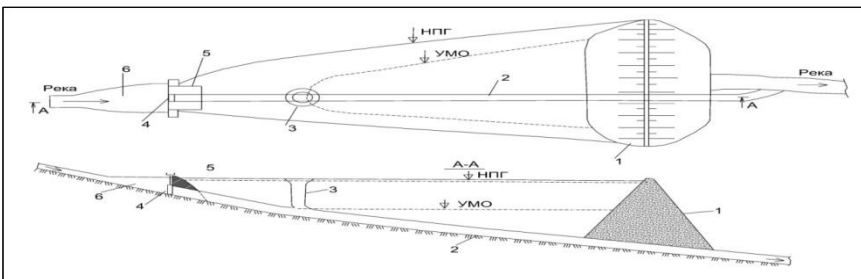


Рис. 4. Схематический план и разрез сооружений водохранилища

1 – плотина; 2 – донные трубы; 3 – поверхностный водосброс; 4 – донный водоприемник; 5 – наносодержащая водосливная плотина; 6 – бассейн предварительного осаждения наносов.

Следует отметить, что существующие метод и конструкции не позволяют решить проблемы рационального использования, водных ресурсов высокому-тнх горных рек.

У существующих методов есть ряд недостатков:

1. Во время эксплуатации водохранилищ невозможно проводить мероприятия по предотвращению заиления.
2. Во время промывки ила гидравлическим методом происходит потеря большого количества воды.
3. В расчетах на заиление не учитывается объем селевых наносов.
4. Ухудшается качество собранной в водохранилище воды из-за влияния селевых наносов.
5. Большие риски, возникающие из-за стремительного поступления селевых потоков в водохранилище (опасность разрушения плотины из-за размыва, которому способствует волнение из-за селей, возникающее в переполненном водохранилище).

Чтобы избежать подобных ситуаций и более рационально использовать водные ресурсы высокому-тнх рек, нами был разработан новый метод. При разработке нового метода отдавалось предпочтение рациональному использованию водных ресурсов высокому-тнх рек и устранению основных недостатков уже существующих методов.

Для рационального использования водных ресурсов высокому-тнх рек и для борьбы с мутностью А.Ш. Мамедов рекомендует отдавать предпочтение строительству водозаборок вне русла рек. Он предлагает забор воды из реки осуществлять водозаборным сооружением, проведя ее через отстойник, и, отстояв, направить ее в построенное вне русла реки водохранилище.

Следует отметить, что борьба с илом в высокому-тнх реках не является целесообразной с экономической точки зрения и для гидравлической промывки осажденного в отстойнике ила требуется еще больше воды и электрической энергии (для открывания и закрывания затворов-шлюзов) [10].

Разработанный нами новый метод, в отличие от этого, позволяет свести к минимуму потери воды и энергии. Отстаивание и забор высокому-тнх речной воды осуществляются непосредственно при помощи построенной в русле реки невысокой плотины, которая регулирует речной поток. В узел этой плотины входит водосливная бетонная плотина, водозабор и направляющие стенки для промывки ила. Состоящий из этих сооружений комплекс гидротехнических сооружений создаёт условия для относительной регулировки потока в русле реки, осаждения основной части наносов, промывки его гидравлическим способом и сброса в русло реки. При этом обеспечивается отстаивание высокому-тнх вод в русле реки и направление чистой воды во внерусловое водохранилище.

Предлагаемый комплекс гидротехнических сооружений должен быть спроектирован в пределах нижеследующих параметров:

- низконапорное водоприемное водохранилище выполняет функцию отстойника в форме озера;
- мертвый объём водоприемного водохранилища определяют в соответствии с гидрологическим режимом реки на основании годовых и квартальных наносных режимов реки;

– високомотная речная вода основательно отстаивается в русле реки и после этого поступает посредством открытого канала или трубы в водоприемное водохранилище, построенного вне русла реки;

– во время паводка и в период резкого повышения мутности речной поток, не задерживаясь в водоприемном водохранилище, выпускается прямо в нижний бьеф;

– не допускается затвердение (кольматация) в водоприемном водохранилище отложения ила, оно периодически промывается гидравлическим способом и сбрасывается в нижний бьеф.

Для того чтобы устранить вышеназванные недостатки, предлагаемый вариант решения был исследован на примере расположенной на территории Азербайджанской Республики высокомотной и подверженной частым селевыми паводкам реки Гирдыманчай. Сравнительный анализ предлагаемого решения был проведен путем сопоставления технических параметров существующих и новых методов.

Краткая гидрология реки Гирдыманчай. Река Гирдыманчай берет свое начало на высоте 2 900 м южного склона вершины Бабадаг (3 632 м) Большого Кавказского хребта. После того как река спускается с гор, она образует широкий конус выноса в плоскогорье Гарамарьям и распадается на множество притоков. Река с шестью притоками, протекая через плоскогорье, выходит на Ширванскую равнину.

Средняя ширина бассейна Гирдыманчай – 8,3 км, средняя высота – 1 212 м. В бассейне есть 64 км² площади лесов. Согласно водному режиму, река Гирдыманчай весной полноводна и осенью подвержена паводкам. На реке Гирдыманчай действуют четыре гидрометрических станций.

Согласно данным станции Гараноур, средний многолетний расход воды составляет 6,5 м³/сек. Опасными гидрологическими событиями на реке считаются часто возникающие селевые паводки. Селевые источники занимают более 50% водосборной площади. Катастрофические селевые паводки наблюдались на реке Гирдыманчай 27 июля 1915 г., 11 августа 1926 г., 14 июня 1930 г., 15 июля 1947 года, 18 октября 1951 г., 22 июня 1953 г., 7 июля 1963 г., 24 мая 1975 г., 16 мая 1982 г.

Согласно данным станции Гараноур, на реке Гирдыманчай наибольший катастрофический расход – 201 м³/сек. – был 15 июля 1988 г. Основные измерительные работы с взвешенными наносами на реке Гирдыманчай проводились на станции Гараноур (расположена в районе строящегося водохранилища) в 1966–1970 гг. Согласно данным по наблюдению за взвешенными наносами, количество годового стока равнялось 2–3,5 млн тонн (таблица 1) [1–4].

Таблица 1

**Значения расхода наносов на реке
Гирдыманчай (станция Гараноур), кг/сек.**

Период наблюдения	Средний расход наносов кг/сек.												Средне- годовой
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
1966	0,89	3, 3	7, 1	77	320	17	10	50	410	76	140	0,9 8	93
1967	0,37	0, 35	13	44 0	530	77	9,6	0,4 3	110	110	61	1,2	110
1968	0,27	2, 2	4, 1	76	26	660	27	0,5 2	1,8	0,3 6	0,4 3	0,8 4	64
1969	0,1	0, 26	23	31 0	180	25	190	15	17	5,5	0,9 5	3	64
1970	1,3	3, 1	39	26 0	25	83	13	120	2,1	3,4	0,4 3	0,2 3	46
Сред- ний	0,59	1, 8	17	23 3	216	172	50	37	108	39	41	1,2	75

1. Создание водохранилища на реке Гирдыманчай традиционным способом.

Был исследован вариант постройки водохранилища на реке Гирдыманчай на абсолютном уровне 830 м в русле реки для орошения плодородных земель, расположенных в предгорных районах Ширванской зоны. На основе гидрологических данных реки Гирдыманчай были проведены расчеты, которые показали, что построенный традиционным способом на реке и состоящий из грунтовой плотины комплекс гидротехнических сооружений будет в пределах нижеследующих параметров.

Для определения объема нового водохранилища гидротехнические расчеты проводились согласно расходу воды 75% обеспеченности реки Гирдыманчай ($Q=4,69 \text{ м}^3/\text{сек}$), по которому объем собранной за год воды составляет 149,76 млн м^3 , годовой объем наносов 1,5 млн м^3 (таблица 2). Расход (0,1% обеспеченности) паводка водосбросного сооружения будет $Q_{\text{макс}}=350 \text{ м}^3/\text{сек}$.

Предусмотренное в русле реки водохранилище может быть создано между отметками 830 и 970 м. Площадь зеркала воды водохранилища на указанных отметках меняется от 27 109 м^2 до 2 400 000 м^2 и объем водохранилища на этих отметках будет 127 843 млн м^3 .

Согласно расчетам баланса воды, требуемый полезный объем водохранилища 49,493 млн м^3 . За 50-летний срок эксплуатации рассчитанный объем аккумулируемых наносов составит 75,18 млн м^3 . Поэтому полный объем будет 124,67 млн м^3 .

Итак, высота грунтовой плотины, согласно варианту создания водохранилища в русле реки Гирдыманчай, будет примерно 140 м. Если учесть селевые наносы, то мертвый объем водохранилища увеличится, что в свою очередь станет причиной резкого увеличения высоты плотины. Для безопасного сброса паводкового потока в 350 $\text{м}^3/\text{сек}$. в нижний бьеф потребуются строительство паводкового водосброса, стоимость строительства которого составит примерно 20–30% от стоимости плотины.

Таблиця 2

**Среднегодовой расход воды и средний многолетний объем наносов
согласно обеспеченному на 75% расходу воды реки Гирдыманчай**

Показатели	Месяцы												Всего за год, млн м ³	За 50 лет, млн м ³
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
Мутность, кг/м ³	0,3	0,76	5,3	28,7	47,7	70,2	4,95	11,3	9,47	7,6	19,7	0,52		
Расход воды, м ³ /сек	2,02	2,38	3,19	8,12	4,53	2,45	10,1	3,26	11,4	5,12	2,08	2,27	149,7	
Месячный объем наносов, м ³ /месяц	1014	2735	28302	377531	361720	278624	83692	61667	174892	65139	66381	1976	1,50	75,18

Как видно, часть объема водохранилища, равная 75,18 млн м³, используется для скопления мёртвого объема, и строительство плотины такой высоты в долине реки с характерными сильными селями и паводками не является целесообразным с экономической и эксплуатационной точки зрения, а также очень рискованно. Если учесть и высокую сейсмичность территории, то строительство плотины такой высоты и специальная служба эксплуатации потребуют больших финансовых затрат.

2. Вариант создания внеруслового водохранилища и низконапорного водоприемника-водохранилища на реке Гирдыманчай.

Для рационального использования водных ресурсов высокомутных рек предлагается строительство следующих гидротехнических сооружений:

- строительство водоприемника-водохранилища с целью осаждения речных наносов на реке Гирдыманчай между отметками 830–845 м и пропуска их в нижний бьеф с периодической промывкой гидравлическим способом;
- строительство водохранилища на берегу реки Гирдыманчай между отметками 620–680 м вне русла с целью сбора воды, частично отстоянной и взятой из реки.

Основные характеристики водоприемника-водохранилища. Предполагаемое водоприемное водохранилище может быть создано на реке Гирдыманчай между отметками 830–845 м. Площадь зеркала водохранилища, образующаяся в долине реки на уровне отметок 830 и 845 м меняется от 54217 тыс. м² до 115218 тыс. м², объем ограниченный между этими отметками достигает 1,085 млн м³ (рис. 5).

Максимальная высота плотины составит 15 м, общая длина 220–250 м. В теле плотины располагаются промывной шлюз, водосливная плотина и водоприемный шлюз. Объем водоприемного водохранилища определяется с учётом гидравлического режима, при котором обеспечивается максимальное осаждение предполагаемых частиц речных наносов. Этот объем может меняться в зависимости от гидравлической крупности и объема осаждаемых наносов. Гидравлические расчеты на реке Гирдыманчай проводились в соответствии с осаждением наносов, диаметр которых составляет более 0,001 мм.

Объем воды, собранный и частично отстаиванный в водоприемном водохранилище, забирается с помощью расположенного в теле плотины приемного шлюза и подается посредством стальной трубы общей длиной $L=12000$ м и диаметром $D2000$ в построенное вне русла реки водохранилище.

Объем водоприемного водохранилища должен быть выбран таким образом, чтобы объем неосажденных там наносов создавал в построенном вне русла водохранилище минимальный мертвый объем. В противном случае, некоторая часть этих наносов, попав в водохранилище, построенное вне русла реки, станет причиной увеличения общего объема, что нецелесообразно по технико-экономическим причинам. Общая динамика осаждения наносов в водоприемном водохранилище рассчитывалась по формуле Ю.А. Иббазде и Ч.Г. Нуриева [6]:

$$\rho_{вх} = \rho_0 / (v H / \omega_0 + L_x) \cdot v H / \omega_0 \quad (1).$$

$\rho_{вх}$ – мутность воды, поступившей в внерусловое водохранилище, $кг/м^3$;
 ρ_0 – мутность воды, поступившей из реки в водоприемное водохранилище, $кг/м^3$;

L_x – длина зоны отстаивания (длина водоприемного водохранилища), м;

ω_0 – средняя гидравлическая крупность наносов в реке, м/сек.;

v – средняя скорость движения потока, м/сек.;

H – средняя глубина воды, м.

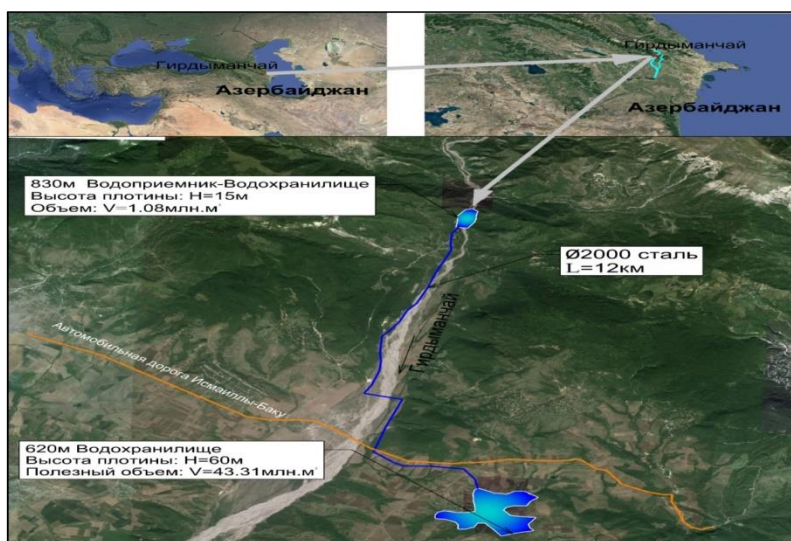


Рис. 5. План расположения на реке Гирдыманчай водоприемника-водохранилища и водохранилища вне русла реки

Мутность воды при входе в отстойное водохранилище была взята на основании данных многолетних наблюдений, проводимых на реке Гирдыманчай. Длина отстаивания была принята в соответствии с расстоянием осаждения ила в водоприемном водохранилище. Средняя гидравлическая крупность наносов рассчитывалась по следующей формуле:

$$\omega_0 = 0,5(\omega_{\max} - \omega_{\min}) / \ln(\omega_{\max} / \omega_{\min}) \quad (2),$$

где ω_{\max} и ω_{\min} – максимальная и минимальная гидравлическая крупность наносов и берется в зависимости от размера частиц из специальных таблиц (Ю.А. Ибадзаде, Ч.Г. Нуриев «Отстойники речных водозаборов», 1979) [6].

Используя формулу, представленную выше для случаев, когда высота плотины водоприемного водохранилища равна 10, 15 и 20 м, были проведены расчеты объема осажженного ила по месяцам и результаты представлены на рис. 7. В случае, когда высота плотины $H=10$ м, объем осажженных за год наносов здесь равен $799\,282\text{ м}^3$, объем неосаженных наносов – $704\,391\text{ м}^3$, в случае когда $H=15$ м, объем осаждения составляет $1\,131\,145\text{ м}^3$, объем неосаженных наносов – $372\,528\text{ м}^3$, в случае когда высота $H=20$ м, объем осаждения равен $1\,95\,066\text{ м}^3$, объем неосаженных наносов – $208\,607$ (рис. 6).

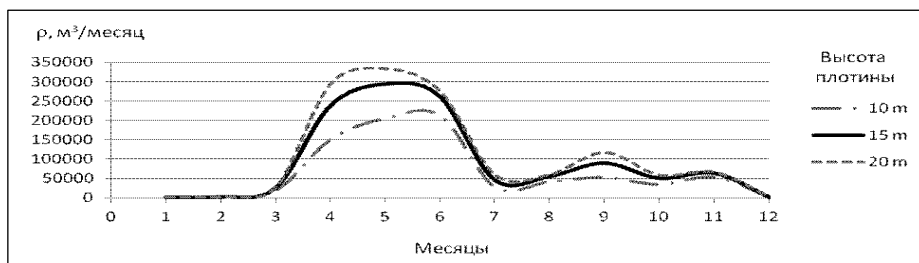


Рис. 6. Объем осадки наносов по месяцам в зависимости от высоты плотины в водоприемном водохранилище.

В случае, когда высота плотины равна 10 м, объем неосаженного ила получается очень большим, и это, в свою очередь, существенно увеличивает мертвый объем водохранилища, расположенного вне русла реки. В случаях, когда высота плотины 20 м или выше, количество осажженного ила незначительно меняется в сравнении с высотой 15 м. Учитывая, что высота плотины больше и промыв осажженного ила здесь приведет к большим потерям воды, ее использование целесообразно с экономической точки зрения. Учитывая вышеизложенный вариант, высота водоприемного водохранилища в 15 м была принята в качестве основной.

Большую часть объема неосаженного ила составляют коллоидные частицы диаметром менее $<0,001$ мм, и на осаждение их в построенном вне русла водохранилище требуется длительное время. Эти частицы наблюдаются в период с мая по октябрь, когда из построенного вне русла водохранилища забор воды будет интенсивным. Динамическое движение воды, собранной в построенном вне русла водохранилище, не создает условий для осаждения этих частиц.

Осажденный в водоприемном водохранилище ил, периодически промываясь гидравлическим способом, должен выпускаться в нижний бьеф. Эта периодичность должна соблюдаться, учитывая гидрологический режим реки. Перед весенним паводком чистая вода, собранная в водоприемном водохранилище, должна быть спущена и осажженный в водохранилище ил промыт с помощью весеннего половодья.

Промывка, осажденного в водоприемном водохранилище ила. В существующих литературных источниках для удаления осажденного в водохранилище ила предлагается использовать различные методы и средства [5; 7; 9]. Метод удаления осажденного в водохранилище ила выбирается с учетом местных условий. Для устранения осажденного в водохранилище ила, как рациональный с экономической точки зрения чаще всего применяется метод гидравлической промывки [5; 7]. Согласно этому методу, для промывки ила водохранилище должно быть полностью опорожнено и на осажденное в чаше водохранилища отложение направляется речной поток, который обеспечивает смывание. По проведенным многочисленным натурным исследованиям замечено, что в этом случае интенсивное вначале течение процесса впоследствии резко ослабевает, что является причиной потерь воды в больших количествах [5; 7].

Так как при этом варианте промывки нет возможности управления водным потоком, в чаше водохранилища промывка ила возможна лишь вдоль одной полосы, и направить промывную воду на осажденный ил на других участках не представляется возможным. Для того чтобы устранить эти недостатки и более продуктивно и рационально использовать промывную воду, была предложена новая система для промывки, создающая возможность для управления и регулирования направления речного потока. Новое сооружение позволяет интенсивно промывать осажденные в водоприемном водохранилище отложения и существенно сократить потери воды.

С целью интенсификации процесса промывки путем регулирования речного потока и направления потока воды на всю площадь отложения предлагается установка направляющих бетонных стен в зоне интенсивного осаждения отложений в верхнем бьефе плотины. Для пропуска речного потока в нужном направлении на входе была создана система затворов. Эти плоские затворы, расположенные поперек реки, позволяют полностью закрыть ее в поперечном направлении. Управление открытием и закрытием этих затворов осуществляется с моста, расположенного вышеуровня воды, сформированного в реке. Во время забора воды из водоприемного водохранилища все затворы бывают в поднятом положении и речной поток, пройдя между всеми направляющими стенами, попадает в чашу водохранилища.

Во время промывки, поочередно открывая и закрывая затворы, речная вода сосредоточенно направляется между направляющими бетонных стен и достигается максимально размываемый эффект.

Расчеты, произведенные для построения водоприемника-водохранилища в выбранном месте в русле реки Гирдыманчай, позволяют определить параметры промывного сооружения. Длина промывных каналов была принята в соответствии с требующим промывки участком. В качестве промывного участка была принята первая 500-метровая часть водоприемного водохранилища. Вблизи плотины водоприемного водохранилища, в первой 100–150-метровой зоне промывные каналы не предусмотрены, здесь будут оседать более мелкие частицы. Начиная с расстояния 150 м от плотины, на участке длиной 200 м строятся каналы для промывки ила, в последней 150-метровой части русла не предусмотрена постройка бетонных каналов, так как здесь оседают преимущественно крупные донные наносы. Донные наносы, скопившиеся у входа в водоприемник-водохранилище, во время промывки могут быть перевезены с территории специальными машинами на строительные площадки (рис. 7).

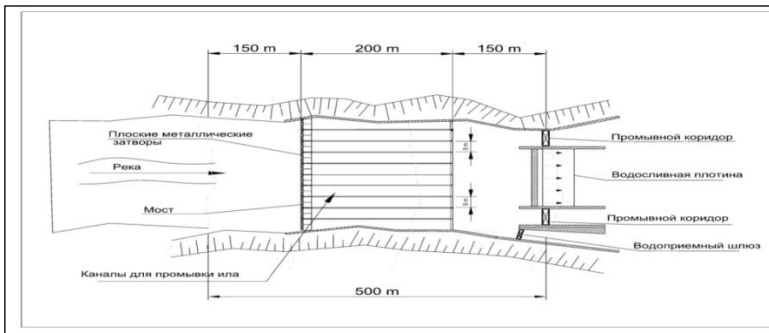


Рис. 7. Схема расположения каналов для промывки отложений в водоприемном водохранилище

С целью управления водой, подаваемой в каналы для промывки ила, на входе устанавливают специальные плоские металлические затворы для предотвращения скопления ила перед плоскими металлическими затворами, которые всегда находятся в открытом положении, т.е. выше максимального уровня воды. Они закрываются лишь во время промывки и, поочередно открываясь, позволяют промыть мощным скоростным течением речного потока осажденный между направляющими стенками ил. Во время прохождения большого расхода воды в реке, с целью интенсификации процесса промывки, в нескольких каналах одновременно может быть открыто несколько затворов. Для управления плоскими металлическими затворами предусмотрен мост (рис. 8).

Промывная установка, предлагаемая для интенсивной, требующей малого расхода воды промывки и выпуска в нижний бьеф осажденного в водоприемном водохранилище ила, должна быть спроектирована в зависимости от высоты плотины, расстояния осаждения частиц, высоты отложения. Осажденный в верхнем бьефе плотины ил, в случае необходимости, может промываться несколько раз в год, учитывая гидрологический режим реки, после опорожнения водоприемника-водохранилища. Ил промывается в основном за счет весеннего и осеннего половодья.

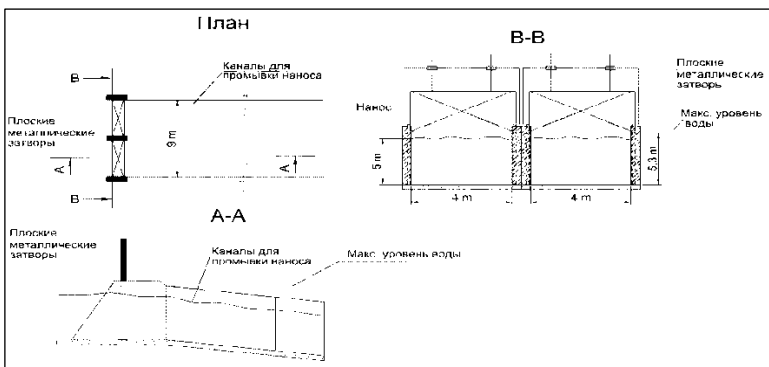


Рис. 8. Схема расположения плоских металлических затворов на каналах в водоприемном водохранилище

Значение мутности, образующееся в промывных каналах во время промывки, рассчитывается по формуле, предложенной Б.М. Шкундиным для проывки отстойников [8].

$$\rho_{\text{тр}} = g (v_{\text{пр}} - 0,35)^3 / h^2_{\text{пр}} \quad (3),$$

где $\rho_{\text{тр}}$ – транспортирующая способность потока, кг/м^3 ;

$v_{\text{пр}}$ – скорость промывки, м/сек ;

$h_{\text{пр}}$ – высота воды в камере во время промывки, м .

Гидравлические параметры промывных каналов рассчитываются в соответствии с максимальной мутностью, возникшей во время промывки. По вышеприведенному выражению было рассчитано значение мутности, возникающее во время промывки каналов с прямоугольными поперечными сечениями, имеющими ширину по дну 7 м, 9 м и 11 м. Полученные результаты отражены на рис. 9.

Как видно из приведенных расчетов, образованная во всех каналах во время промывки мутность увеличивается до определенного значения расхода воды, а затем начинает снижаться. Для канала с шириной дна 7 м максимальное значение мутности составляет $139,04 \text{ кг/м}^3$ при расходе воды $26,96 \text{ м}^3/\text{сек}$. В случае, когда ширина канала 9 м, при расходе воды $51,58 \text{ м}^3/\text{сек}$ максимальное значение мутности составляет $155,83 \text{ кг/м}^3$. В случае ширины дна канала в 11 м максимальное значение мутности составляет $169,33 \text{ кг/м}^3$ при расходе воды $64,67 \text{ м}^3/\text{сек}$. Однако из-за отсутствия указанного расхода воды в исследуемой реке нет возможности для промывки объема ила в указанном количестве.

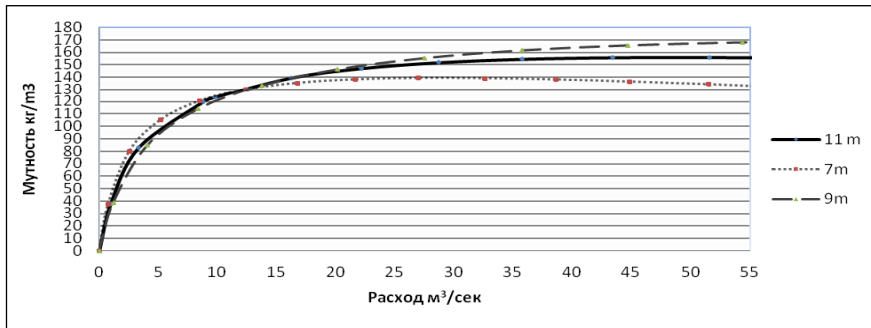


Рис. 9. Изменение мутности в зависимости от расхода воды во время промывки в каналах с шириной дна, равной 7 м, 9 м и 11 м

Максимальная мутность, которая может возникать во время промывки для реки Гирдыманчай, возможна во время расходов воды в период половодья. Так как среднемесячный расход воды в период половодья на реке Гирдыманчай меняется между значениями $8\text{--}11 \text{ м}^3/\text{сек}$, то максимальное значение мутности во время промывки может браться в этом диапазоне. Таким образом, при промывном расходе $8,48 \text{ м}^3/\text{сек}$ для разной ширины канала выполнено расчеты. При ширины дна канала в 7 м мутность составляет $120,13 \text{ кг/м}^3$, при 9 м мутность составляет 120 кг/м^3 , при 11 м мутность составляет $113,62 \text{ кг/м}^3$. Отсюда ясно, что во время промывки указанным расходом воды транспорти-

рующая способность канала шириной по дну 11 м, в отличие от других каналов, низкая, а значения мутности в каналах шириной дна 7 м и 9 м очень близки. Однако в случае принятия канала шириной дна 7 м количество каналов, установленных по ширине русла реки, будет относительно больше, что не может считаться рациональным с экономической точки зрения. С этой целью для промывки был принят канал с шириной дна 9 м как наиболее подходящий с поперечным сечением.

Было рассчитано количество воды, требуемое для промывки в каналах, шириной дна 9 м, осажденного в водоприемном водохранилище ила в месяцы половодья, полученные результаты приведены в таблице 3. Согласно проведенным гидравлическим расчетам для промывки общего объема, осажденного в 10, 11, 12 и 1, 2, 3, 4 месяцах ила, считается рациональным использование происходящего в апреле весеннего половодья, а для промывки общего объема осажденного в 7, 8, 9 месяцах ила – происходящего в сентябре осеннего половодья.

Расчеты для промывки осажденного в мае в водохранилище объема ила проводились для 6-го месяца. В 6-ом месяце, характеризующимся самой высокой мутностью, предполагается не забирать воду из реки, а транзитом направить сток в нижний бьеф, что в целом окажет положительное влияние на флору и фауну, гидрогеологические условия долины реки.

Согласно проведенным расчетам, количество воды, используемое для промывки осажденного в 6-ом месяце $262\,338\text{ м}^3$ общего объема ила, составляет $7,34\text{ млн м}^3$, при этом месячный сток реки на этот месяц составляет $6,35\text{ млн м}^3$. Как видно, количество воды, используемое для промывки, превышает относительно месячный сток реки, что неэффективно с экономической точки зрения. Учитывая это, осаждение иловых наносов за 6-ой месяц в водоприемном водохранилище считается нецелесообразным.

Как видно из таблицы 3, время, затраченное в течение года на промывку, составляет 30 суток, требуемое количество воды вместе с отведенной за 6-ой месяц водой составляет $24,06\text{ млн м}^3$. Число промывных каналов было принято в соответствии с шириной русла реки. Средняя ширина русла реки, в долине которой расположено водоприемное водохранилище, равна 90 м. Так как ширина промывных каналов по дну равна 9 м, в русле будет размещено 10 каналов.

Высота промывных каналов была принята в соответствии с высотой осажденного здесь ила. Так как промывка ила в водоприемном водохранилище проводится в соответствии с режимом половодья реки, высота осажденного ила была определена в соответствии с этими объемами. На основании произведенных расчетов объем ила, требующий промывки за первый полноводный месяц, составляет $382\,862\text{ м}^3$, за второй месяц – $294\,534\text{ м}^3$, за третий период объем требующего промывки ила – $191\,411\text{ м}^3$. Но так как сюда включен объем ила, осажденный в течение месяца проведения промывки, мощность пласта не может быть определена по этому объему, и, соответственно, высота определяется по максимальному объему осажденного ила за промежутки времени до начала периода промывки ила.

Как видно из таблицы, объем осажденного ила за промежутки времени до начала периода промывки, т.е. за 1, 2, 3, 10, 11 и 12-й месяц, равен $145\,360\text{ м}^3$, объем осажденного ила за второй период промывки, т.е. в течение 5-го месяца – $294\,534\text{ м}^3$, и его возможно удалить в любое время. Тем самым определение

высоты промывных каналов по высоте осажденного за этот месяц ила неверно. За третий период промывки до начала промывки, т.е. за 7 и 8-ой месяцы, объем осажденного ила составляет 101 512 м³. Так как объем осажденного за период первой промывки больше других, высота боковых стенок канала была определена в соответствии с мощностью пласта осажденного за этот период ила.

Таблица 3

Расход воды на промывку (посредством каналов) ила, осажденного в водоприемном водохранилище

Показатели	Месяцы											Итого	
	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8		9
Расход воды, м ³ /сек	5,12	2,08	2,27	2,02	2,38	3,19	8,12	4,53	2,45	10,1	3,26	11,4	
Объем, требующего промывки ила, м ³	50749	63780	1880	958	2586	25407	237502	294534	262338	46420	55092	89899	868807
	382862							294534	485945				
Мутность реки во время промывки (ρ _п , кг/м ³)	7,6	19,7	0,52	0,3	0,76	5,3	28,7	47,7	70,2	4,95	11,3	9,47	
Промывная способность ила, (ρ _п , кг/м ³)							120	120				120	
расход промытого ила (м ³ /сек)							0,463	0,205				0,788	
Время, потраченное на промывку (сутки)							5,9	16,6				7,14	30
Вода, израсходованная на промывку, млн м ³							4,16	6,52	6,35			7,03	24,06

Объем ила, осажденного в водоприемном водохранилище согласно расчету за период первой промывки, т.е. в 10, 11, 12, 1, 2, и 3-ем месяцах, приведен в таблице 4.

Как видно из таблицы 4, за период первой промывки объем максимально осажденного ила наблюдается на расстоянии 150–220 м от входа в водохранилище, т.е. в основном на участке длиной в 70 м. Объем ила, осажденного на этом участке, составляет 31 181 м³. Если принять ширину русла реки за 90 м, то мощность пласта осажденного здесь ила будет равна примерно 31181/70/90=4,95 м. Согласно расчетам, максимальная мутность, образованная

в промывной воде, возникает в случае, когда глубина стока равна 0,35 м. Исходя из вышеизложенного, высота канала будет равна $4,95+0,35=5,3$ м.

Таблица 4

**Объем осажденного ила за период первой промывки
согласно расстояниям в водоприемном водохранилище**

Расстояние, м	Объем осажденного по месяцам ила (м ³)						Общий объем осажденного ила, м ³	Мощность пласта осажденного ила, м
	январь	февраль	март	октябрь	ноябрь	декабрь		
50	82	223	1757	2580	6118	168	10928	2,43
100	147	401	33294	5074	10756	300	19971	4,44
150	155	420	33636	5951	10958	312	21431	4,76
220	215	580	55496	10058	14410	423	31181	4,95
290	154	415	44347	9001	9790	297	24004	3,81
360	101	270	33136	7388	6030	190	17115	2,72
430	63	169	22186	5878	3574	117	11988	1,90
500	41	108	11556	4819	2144	73	8740	1,39

Основные характеристики предлагаемого внеуловного водохранилища на правом берегу реки Гирдыманчай. Предусмотренное вне русла водохранилище создается на правом берегу реки Гирдыманчай между отметками 620 и 680 м. На основании проведенных расчетов полезный объем водохранилища будет 43,312 млн м³. Неосажденные в водоприемном водохранилище мелкие частички ила накопятся в внеуловном водохранилище, что будет способствовать определенному увеличению полного объема водохранилища. Площадь зеркала долины между отметками долины водохранилища 620 и 680 м меняется от 61 498 м² до 2 390 000 м², и ограниченный этими отметками объем воды достигает 53,837 млн м³. Таким образом, высота плотины внеуловном водохранилище будет 60 м.

Технические показатели водохранилища на реке Гирдыманчай, созданного традиционным способом в сравнении с техническими показателями водоприемного водохранилища, предлагаемого по новому методу и водохранилища, созданного вне русла, приведены в таблице 5.

Таблица 5

Технические показатели водохранилищ

Название водохранилища	Уровень расположения, м	Высота плотины, м	Полный объем водохранилища, млн м ³	Полезный объем водохранилища, млн м ³	Стоимость строительства, млн. доллар
Гирдыманчай (в русле)	830–970	140	124,673	49,443	285,0
Гирдыманчай (вне русла)	620–680	60	53,312	43,310	65,0
Водоприемное водохранилище (в русле)	830–845	15	1,085	1,085	3,5

Если проводить сравнение с учетом нынешних рыночных цен, то строительная стоимость, включенных в новый вариант, сооружений на 75%, ниже стоимости строительства традиционной грунтовой плотины высотой 140 м. Учитывая расходы на эксплуатацию и возникающие технические риски, не рекомендуется возведение высоких плотин в русле высокоомутных горных рек.

С целью рационального использования водных ресурсов рек данного типа считается целесообразным использование разработанной методики. Следует отметить, что построенные непосредственно в долине реки водохранилища оказывают серьезное влияние на экологию окружающей среды. Полностью нарушается сформированный в многолетний период гидрологический режим, что приводит к разрушению флоры и фауны долины реки. В долине реки погибают без воды деревья и кусты, ухудшаются гидрогеологические условия долины реки, падает уровень грунтовых вод. На плотинах, построенных на русле реки, обычно санитарные расходы не пропускаются: примером этого являются водохранилища, построенные на территории Азербайджана (Сираб, Арпачай, Агстафачай, Ханбуланчай, Айричай, Ахынчачай и др.).

По предлагаемому нами методу, во время промывки осажденного в водохранилище ила речной поток полностью поступает в русло реки. И при этом создается частичное условие защиты экологической системы вокруг русла реки в нижнем течении реки и сохранения гидрогеологических условий под руслом реки.

Выводы и предложения.

1. В статье исследовались пути рационального использования водных ресурсов высокоомутных горных рек. С этой целью в качестве примера была выбрана расположенная на территории Азербайджанской Республики высокоомутная река Гирдыманчай и путем гидрологических расчетов был проведен сравнительный анализ технико-экономических параметров строительства водохранилищ, созданных традиционным способом в русло реки и согласно предложенной методике.

2. Для регулирования 75% обеспеченного стока в русло реки Гирдыманчай по традиционному способу надо построить земляную плотину высотой 140 м, с общим объемом 125 млн м³ (мертвая объемом составит 75 млн м³). Надо отметить, что строительство высокой плотины с полезным объемом 50 млн м³ на территории с высокой сейсмоактивностью, на которой наблюдаются крупномасштабные сели, опасно с точки зрения эксплуатации.

3. Для регулирования стока реки предложено строительство внеусловных водохранилищ с минимальными мертвыми объемами. Предлагается строительство непосредственно в русле реки водохранилища-водозабора для отстаивания стока реки высокой мутности и дальнейшем – направление более прозрачной воды во внеусловные водохранилища. Проведен сравнительный анализ высоте первичной (*сравнивались эффект отстаивания при высоте плотины в 10 м, 15 м, 20 м*) плотины для осаждения наносов в русло реки, выбрана плотина с высотой 15 м.

4. Разработана новая конструкция для интенсивной промывки наносных отложений из чаши водохранилища-водозабора с минимальными расходами воды. Предлагаемые компоновки элементов новой конструкции позволяют целенаправленно управлять речным потоком для интенсивной промывки отложений.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Ахундов С.А. Сток наносов горных рек Азербайджанской ССР. Баку: Елм, 1978. 97 с.
2. Рустамов С.Г., Кашкай Р.М. Водные ресурсы Азербайджанской ССР. Баку: Элм, 1978. 110 с.
3. Мамедов М.А. Гидрография Азербайджана. Баку, 2002. 266 с.
4. Основные гидрологические характеристики (за 1963–1970 гг. и весь период наблюдений). Ленинград, Гидрометеоиздат, 1976.
5. Теймуразович М.Г. Заиление на промыв горных водохранилищ с учетом изменчивости тведого стока: дис. . . канд. пед. наук. Тбилиси, 1988. 138 с.
6. Ибадзаде Ю.А., Нуриев Ч.Г. Отстойники речных водозаборов. Москва: Стройиздат, 1979. 168 с.
7. Баширов Ф.Б. Озерные отстойники водохозяйственных систем. Москва: Стройиздат, 1987. 102 с.
8. Журавлев Г.И. Гидротехнические сооружения. Москва: «Колос», 1979. 424 с.
9. Мухамедов А.М. Рациональные режимы эксплуатации низконапорных гидроузлов на реках средней Азии транспортирующих наносы. Ташкент, 1965. 174 с.
10. Мамедов А.Ш. Разработка новых конструкций гидротехнических сооружений и методов их гидравлических расчетов: дис. . . . докт. техн. наук. Ваку, 2011.
11. Мамедов А.Ш. Экологические аспекты эксплуатации горных водохранилищ. *Гидротехническое строительство*. 1992. № 12.

УДК 502.52:631.67:631.45(477.72)

**СУЧАСНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ СТАН ЗРОШУВАЛЬНИХ ЗЕМЕЛЬ
ХЕРСОНСЬКОЇ ОБЛАСТІ ЗА ОСНОВНИМИ
ПОКАЗНИКАМИ РОДЮЧОСТІ ҐРУНТІВ**

*Онищенко С.О. – к.с.-г.н., доцент кафедри ботаніки та захисту рослин,
ДВНЗ «Херсонський державний аграрний університет»
Алмашова В.С. – к.с.-г.н., доцент кафедри екології
та сталого розвитку імені професора Ю.В. Пилипенко,
ДВНЗ «Херсонський державний аграрний університет»
Євтушенко О.Т. – к.с.-г.н., асистент кафедри екології
та сталого розвитку імені професора Ю.В. Пилипенко,
ДВНЗ «Херсонський державний аграрний університет»*

Стаття висвітлює ряд основних питань, які пов'язані з вивченням сучасного агроекологічного стану сільськогосподарських земель, на яких проводиться зрошення. Саме науково необґрунтовані норми зрошення та недосконалі технології вирощування сільськогосподарських культур можуть призвести до погіршення стану ґрунтового середовища. Тому для запобігання вищевказаних процесів варто проводити меліоративні роботи, які покращать їх агроекологічний стан.

Ключові слова: агроекологія, родючість ґрунтів, меліорація земель, зрошення, екологічний стан ґрунту, моніторинг сільськогосподарських земель, деградація.