

Выводы

1. Исследования процессов преобразования исходных нефтетитановых руд показали наличие преобразованных в результате проявления пострудных процессов минеральных образований, по составу отвечающих диоксидам титана при полном отсутствии вростков кварца и отсутствии примесей алюминия и кремния в их химическом составе.

2. Наличие природных процессов преобразования в свою очередь позволило прогнозировать результаты техногенного воздействия на продукты обогащения нефтетитановых руд и получение продуктов, отвечающих промышленным критериям.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сметанников А.Ф., Коротченкова О.В., Оносов Д.В. Некоторые особенности минералогии нефтетитановых руд // Материалы юбилейного съезда Российского минералогического общества «200 лет РМО»: сб. тез. – Спб., 2017. – Т. 2. – С. 167-168.
2. Перовский И.А. Титаносиликаты из лейкоксеновых руд Ярегского месторождения: получение, свойства, применение: автореф. дис. ... канд. г.-м. н.: 25.00.05: / Перовский Игорь Андреевич. – Сыктывкар, 2020. – 22 с.

УДК 532.5

DOI:10.7242/echo.2021.1.7

ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПОСЛЕДСТВИЙ КРУПНОМАСШТАБНОЙ ДОБЫЧИ ПЕСЧАНО-ГРАВИЙНОЙ СМЕСИ В НИЖНЕМ БЬЕФЕ ВОТКИНСКОЙ ГЭС

А.А. Тиунов, А.П. Лепихин, А.А. Возняк
Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация: Дана оценка возможных гидравлических последствий крупномасштабной добычи песчано-гравийных смесей в верхней части Нижне-Камского водохранилища (нижнем бьефе Воткинского водохранилища) на основе проведения многовариантных вычислительных экспериментов на разработанной гидродинамической модели рассматриваемого водного объекта. Такая оценка необходима для выработки мероприятий по минимизации отрицательных последствий и обеспечению на этой основе соблюдения баланса интересов между отдельными заинтересованными пользователями. Для оценки возможных последствий разработки новых русловых месторождений нерудных полезных ископаемых были созданы гидродинамические модели данного участка р. Камы в 1D (HEC RAS v.5.0.7) и 2D (SMS v.11.1) приближениях на основе лицензированных программных продуктов. В результате расчетов были получены графики уровней воды для различных сценариев расчета, графики сравнения уровней воды по результатам расчетов в одно- и двумерной модели для морфометрии 2019 года в естественных условиях и с учетом выработки месторождений песчано-гравийных смесей. Выполненные многовариантные вычислительные эксперименты показали, что разработка только восьми уже разрабатываемых месторождений: Волковское, Ольховское, Сивинский, Гольяновское, Макаровское, Верхне-Дулесовский, Симонихинское и Симонихинское-2 – приведет к необходимости увеличения для поддержания судоходных глубин 3,3 м расхода сбросов в нижний бьеф Воткинской ГЭС до 1800 м³/с при продолжительности сброса 12 часов или поддержания постоянного сброса 1500 м³/с при продолжительности не менее 24 часа. Как при одномерном моделировании, так и при двумерном моделировании при сравнительном анализе графиков уровней воды можно выделить 3 участка с сильной просадкой уровня от 15 до 41 см в связи с крупномасштабной добычей ПГС.

Ключевые слова: уровень режим водохранилища, гидродинамическое моделирование, последствия крупномасштабной добычи песчано-гравийных смесей, просадка уровня.

Введение

Характерной особенностью разработки русловых месторождений НСМ (нерудных строительных материалов) является то, что они активно затрагивают интересы большого количества различных водопользователей.

В настоящее время эффективным инструментом, позволяющим учесть и сопоставить интересы различных водопользователей, провести поиск наиболее оптимальных вариантов решения проблем, является построение и проведение многовариантных вычислительных экспериментов на основе гидродинамических моделей рассматриваемых водных объектов.

Технологии построения таких вычислительных гидродинамических моделей и решение этих задач стали развиваться с середины 60-х годов XX века, с начала активного применения вычислительных средств. Здесь из отечественных исследователей в первую очередь следует отметить работы О.Ф. Васильева [1], Л.С. Кучмента [2-3], Б.Л. Историка [4], М.С. Грушевского [5] и др. Достаточно полное современное обобщенное решение данной задачи дается в коллективной монографии [6]. Задача распространения волн подпертых нижних бьефов гидроузлов и формирования обратных волн рассматривается в работе А.П. Лепихина и др. 2018 г. [7].

Постановка задачи

Нижний бьеф Воткинской ГЭС – убедительный пример сложной ситуации, возникающей при регламентации добычи НСМ с учетом интересов водопользователей. Всего в нижнем бьефе Воткинской ГЭС находится 14 карьеров, где когда-либо производилась добыча песчано-гравийных смесей (рис. 1). Однако, в настоящее время (последние 10 лет) добыча НСМ проводится только на 8 карьерах, которые и будут рассматриваться в данной работе. Сложность и актуальность решения данной задачи подчеркивается в работе С.А. Двинских и др. [8].

На первом этапе для участка р. Кама от Воткинской ГЭС до г. Сарапула в 2019 году было проведено полное обследование местности, включая сам водный объект, его пойму и прилегающую территорию. В процессе выполнения первого этапа выполнены подготовительные, топографо-геодезические, гидрологические и камеральные работы. Результатом первого этапа является составление картосхем распределения глубин и морфометрических особенностей русла, получение цифровой модели рельефа (ЦМР), которая используется при гидродинамическом моделировании.

На втором этапе осуществляется выбор сценариев для проведения модельных расчетов, выбор подходящей расчетной модели для построения гидродинамической модели, наиболее полно описывающей данный водный объект, и построение гидродинамической модели.

Для построения гидродинамической модели в одномерном приближении для всего Нижнекамского водохранилища протяженностью 282 км был выбран специализированный гидрологический программный пакет HEC-RAS v.5.0.7, разработанный центром гидравлических исследований («HEC», США) [9], который позволяет проводить гидродинамические расчеты для волн попусков с ГЭС. В ходе работ был выделен в отдельную модель наиболее важный участок р. Камы ниже плотины Воткинской ГЭС до ж/д моста ниже г. Сарапула протяженностью 75 км.

В качестве сценарных расчетов для одномерной модели были проведены многовариантные расчеты с изменением расхода сброса от времени, более подробно все сценарии представлены далее. Для всех расчетов на нижней границе в районе ж/д

моста ниже г. Сарапула задавалась кривая $Q=f(H)$, полученная в ходе камеральных работ.

Гидродинамическое моделирование уровенного режима является эффективным инструментом для прогнозирования изменения уровня воды вследствие изменения русла реки (дноуглубление, спрямление, размыв русла со временем и т.д.), в нашем случае вследствие разработки месторождений ПГС, и позволяет заранее составить рекомендации по минимизации негативных последствий от таких работ.

Методы

Программный комплекс HEC-RAS v.5.0.7 представляет собой систему всестороннего гидродинамического моделирования различных поверхностных водных объектов в одномерной постановке. В модели в 1D-постановке для данного участка реки было назначено, измерено и оцифровано 302 сечения с шагом в 250 метров.

Для построения гидродинамической модели в двумерном приближении для участка р. Кама ниже плотины Воткинской ГЭС до ж/д моста ниже г. Сарапула протяженностью 75 км был выбран лицензированный специализированный гидрологический программный пакет SMS v.11.1 (Surface-water Modeling System) компании Aquaveo LLC с использованием модели RiverFlow 2D GPU компании Hydronia LLC [10], который позволяет проводить гидродинамические расчеты для различных гидрологических условий.

Результаты расчетов

На первом этапе была проведена калибровка модели по данным наблюдений. В ходе калибровочных расчетов был выявлен оптимальный коэффициент шероховатости Маннинга n , равный $0,023 (с/м^{1/3})$. Необходимо отметить, что в ходе калибровочных расчетов для двумерной модели был выявлен оптимальный коэффициент шероховатости Маннинга n , равный $0,025 (с/м^{1/3})$. Следует учесть, что калибровка двумерной модели осуществляется именно при расходе 1200 куб. м/с, так как все дальнейшие расчеты проводятся с этим расходом воды. 1200 куб. м/с – это среднегодовой расход обеспеченностью 95%. Калибровка моделей показала, что двумерные модели более чувствительны к коэффициенту шероховатости Маннинга n , и при увеличении или при уменьшении расходов воды коэффициенты шероховатости могут значительно меняться.

В качестве сценарных расчетов для одномерной модели были проведены многовариантные расчеты с изменением расхода сброса от времени, более подробно все сценарии представлены в табл. 1.

Расчет основных гидродинамических характеристик уровенного режима в одномерной постановке происходит по следующим сценариям. Расчетное время во всех сценарных расчетах равнялось 5-и суткам.

Сценарий 1. Расход воды в нижнем бьефе Воткинской ГЭС 600 куб. м/с постоянный на протяжении 5 суток. Данный расчет нужен для выявления нижней границы уровня воды по р. Кама для сравнения со всеми последующими расчетами.

Сценарии 2, 3, 4. Расход воды в нижнем бьефе Воткинской ГЭС 1200, 1500, 1800 куб. м/с, постоянный на протяжении 5 суток. Данный расчет нужен для выявления верхней границы уровня воды по р. Кама для сравнения со всеми последующими расчетами, при которых пиковым будет расход 1200, 1500, 1800 куб. м/с, соответственно.

Рассматриваемые сценарии

Таблица 1

№ сценария	Расход воды, Q (м ³ /с)				
	первые 12 часов	увеличение в течение 15 минут	постоянно в течение 1 часа	уменьшение в течение 15 минут	до конца расчетного времени
1	600	600	600	600	600
2	1200	1200	1200	1200	1200
2а	600	От 600 до 1200	1200 (1)	От 1200 до 600	600
2б	600	От 600 до 1200	1200 (2)	От 1200 до 600	600
2в	600	От 600 до 1200	1200 (4)	От 1200 до 600	600
2г	600	От 600 до 1200	1200 (6)	От 1200 до 600	600
2д	600	От 600 до 1200	1200 (12)	От 1200 до 600	600
3	1500	1500	1500	1500	1500
3а	600	От 600 до 1500	1500 (1)	От 1500 до 600	600
3б	600	От 600 до 1500	1500 (2)	От 1500 до 600	600
3в	600	От 600 до 1500	1500 (4)	От 1500 до 600	600
3г	600	От 600 до 1500	1500 (6)	От 1500 до 600	600
3д	600	От 600 до 1500	1500 (12)	От 1500 до 600	600
4	1800	1800	1800	1800	1800
4а	600	От 600 до 1800	1800 (1)	От 1800 до 600	600
4б	600	От 600 до 1800	1800 (2)	От 1800 до 600	600
4в	600	От 600 до 1800	1800 (4)	От 1800 до 600	600
4г	600	От 600 до 1800	1800 (6)	От 1800 до 600	600
4д	600	От 600 до 1800	1800 (12)	От 1800 до 600	600

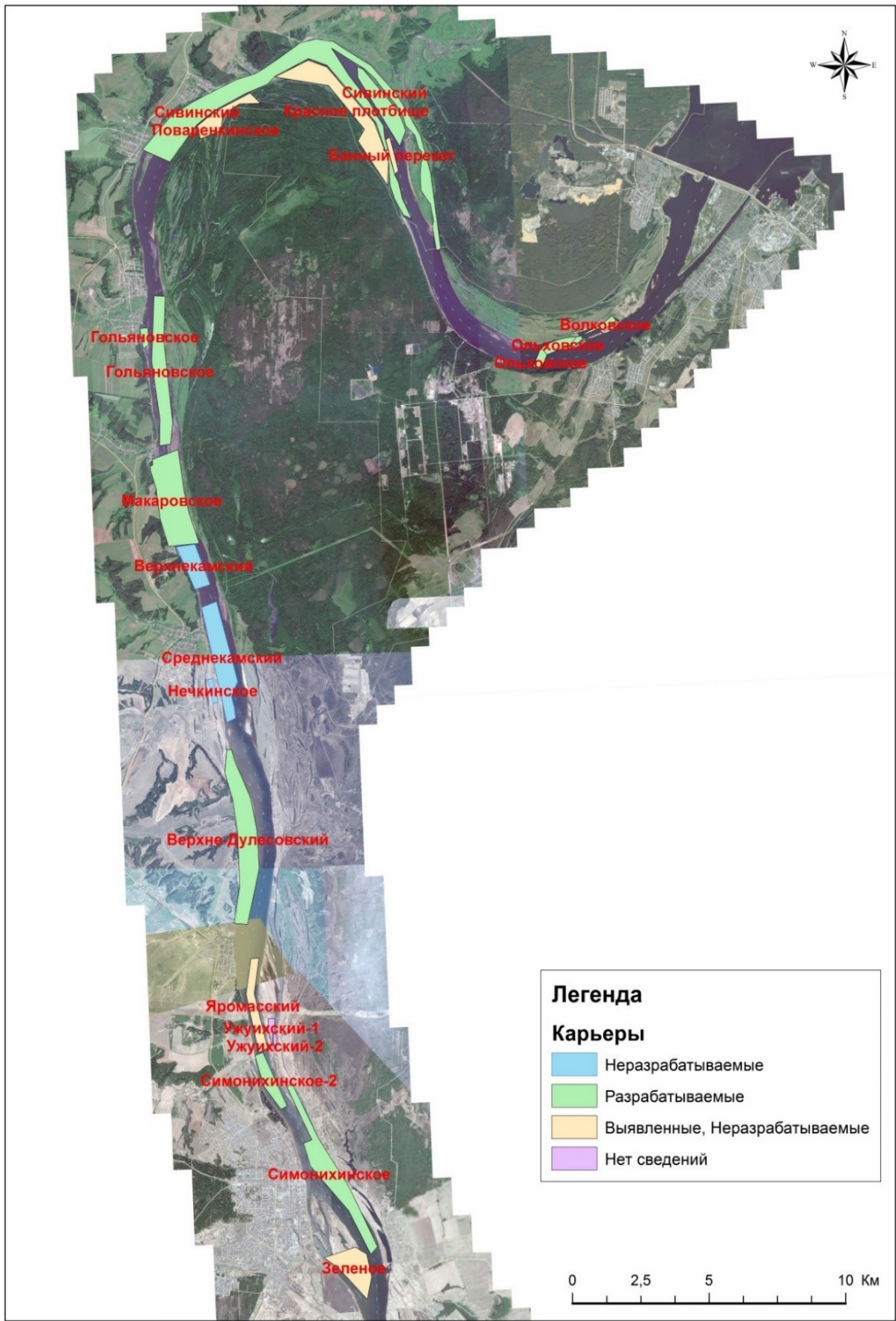


Рис. 1. Общая схема нижнего бьефа Воткинской ГЭС с расположением карьеров

Сценарии все с буквами а, б, в, г, д. Расход воды в нижнем бьефе Воткинской ГЭС в первые 12 часов 600 куб. м/с, далее происходит увеличение в течение 15 минут расхода до 1200, 1500, 1800 куб. м/с и такой расход держится в течение 1 часа (а), 2 часов (б), 4 часов (в), 6 часов (г), 12 часов (д), далее происходит уменьшение в течение 15 минут расхода до 600 куб.м/с, и он уже постоянен до конца расчетного времени.

Далее все выше описанные сценарии были посчитаны при тех же гидрологических условиях, что и в первоначальном варианте, только в ЦМР на участке моделирования были добавлены данные о дноуглублении вследствие проведения полной добычи песчано-гравийной смеси на всех разведанных и разрабатываемых месторождениях ПГС (известных нам на момент создания ЦМР) в нижнем бьефе Воткинской ГЭС до ж/д моста в районе г. Сарапула.

Для переобозначения сценариев с добычей ПГС к названию сценариев без добычи добавляется символ «К» (пример: **Сценарий 2К, Сценарий 2аК**). В общей сложности, для одномерной модели мы получаем 38 различных сценариев расчета.

В результате проведенных сценарных расчетов получены графики уровней воды в р. Каме на участке от Воткинской ГЭС до ж/д моста в районе г. Сарапула. В связи с невозможностью представления всех полученных графиков на рисунке 2 приведено сравнение трех самых лимитирующих вариантов расчета без карьеров и с карьерами, а на рис. 3, 4 – сравнение трех менее лимитирующих вариантов. То есть на рис. 2 представлены графики уровней воды для естественной морфометрии русла, полученной при съемке в 2019 году, рассчитанных по сценариям 1, 2 и 2д, а также графики уровней воды, рассчитанных по таким же сценариям 1, 2 и 2д, но с учетом дноуглубления в связи с полной отработкой месторождений ПГС. На рис. 3 и 4 – то же самое, но для сценариев 3, 3д и 4, 4д, соответственно.

Линия на графиках «УВ необходимый для безопасного судоходства» – это линия, показывающая уровень воды, при котором обеспечивается минимальная глубина для прохождения судов 3,3 м.

Самым важным лимитирующим участком является судоходный шлюз Воткинской ГЭС с отметкой дна шлюза 62,50 м БС и, соответственно, с лимитирующим уровнем воды 65,8 м БС, при котором обеспечивается минимальная глубина для прохождения судов 3,3 м. Вторым лимитирующим участком является Гольяновский пережат в 30 км ниже плотины (его хорошо видно на графиках) с отметкой 61,2 м БС и, соответственно, с лимитирующим уровнем воды 64,5 м БС.

Из представленных графиков видно, что даже в естественных условиях только при сценариях 2, 3, 4, и 4д возможен безопасный проход судов по участку р. Камы: Чайковский шлюз – г. Сарапул. При остальных сценариях при реальной морфометрии 2019 года не обеспечивается минимальная глубина, необходимая для прохождения судов.

По вариантам с учетом дноуглубления в ходе полной выработки месторождений ПГС только при сценариях 2К, 3К, 4К, и 4дК возможен безопасный проход судов по участку р. Камы, Чайковский шлюз – г. Сарапул. При остальных сценариях при реальной морфометрии 2019 года с учетом дноуглубления в ходе полной выработки месторождений ПГС не обеспечивается минимальная глубина, необходимая для прохождения судов.

При пропуске двумерной модели результаты аналогичны одномерным, хотя и дают более расширенную картину причин происходящих процессов, так как показывают возникновение вихревых структур в поле скоростей при уменьшении расходов сброса воды на плотине Воткинской ГЭС.

При сравнительном анализе графиков можно выделить 3 участка с сильной просадкой уровня в связи с крупномасштабной добычей ПГС.

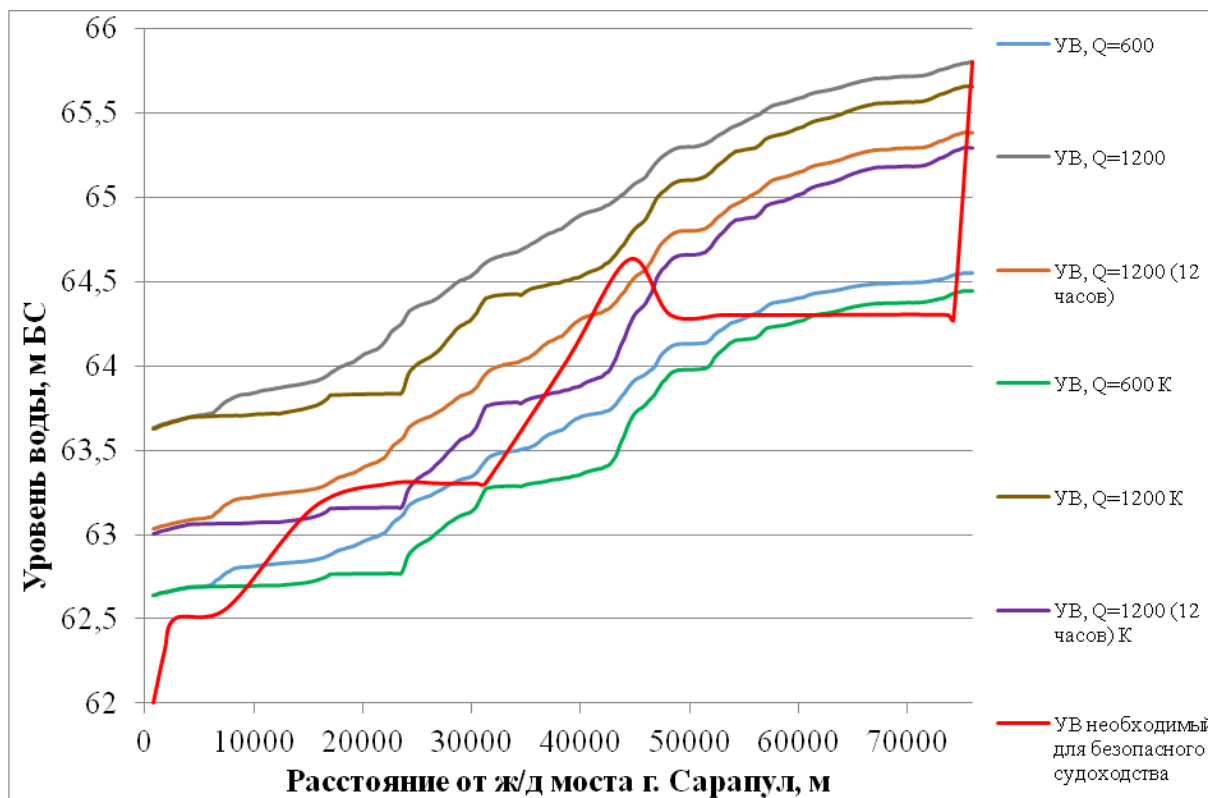


Рис. 2. График сравнения уровней воды по результатам сценарных расчетов (№№ 1, 2, 2д) в одномерной модели для морфометрии 2019 года для естественных условий и с учетом выработки месторождений ПГС

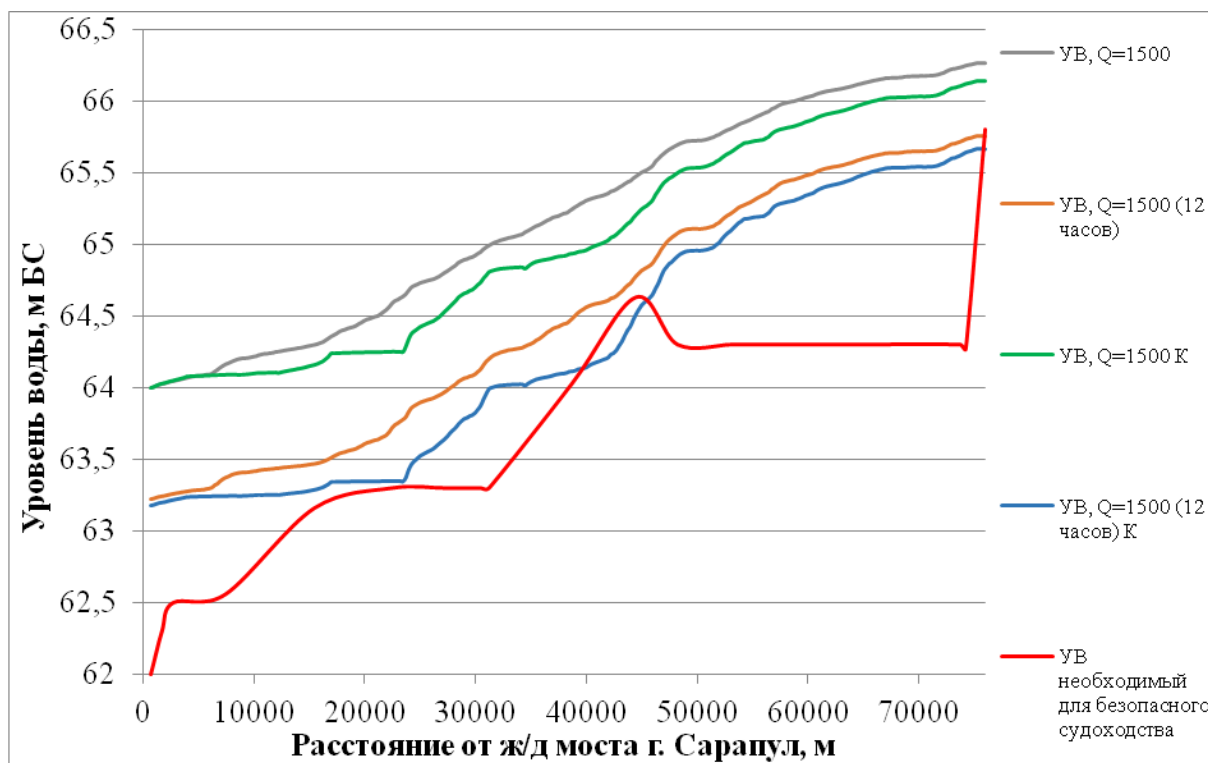


Рис. 3. График сравнения уровней воды по результатам сценарных расчетов (№№ 3, 3д) в одномерной модели для морфометрии 2019 года для естественных условий и с учетом выработки месторождений ПГС

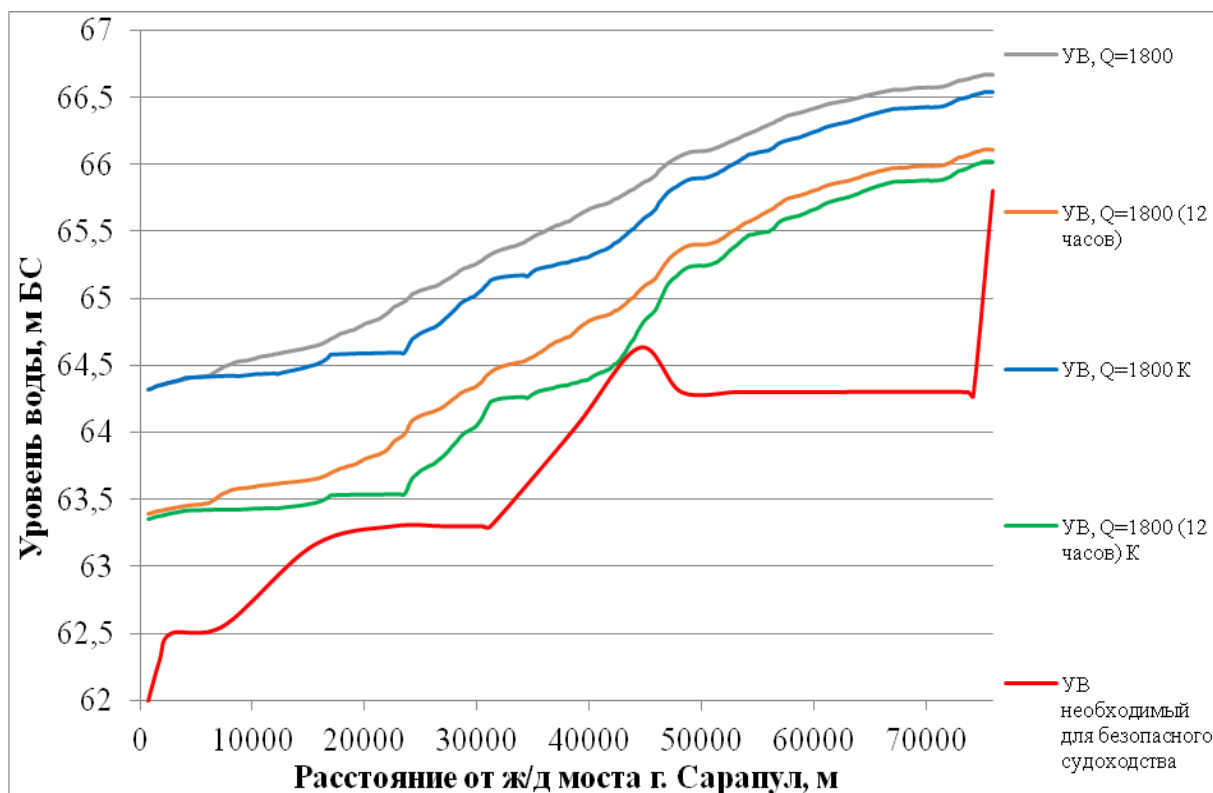


Рис. 4. График сравнения уровней воды по результатам сценарных расчетов (№№ 4, 4д) в одномерной модели для морфометрии 2019 года для естественных условий и с учетом выработки месторождений ПГС

Далее все числовые характеристики просадки уровня воды приведены, при сравнении, для расхода сброса воды в нижний бьеф Воткинской ГЭС 1200 куб. м/с, при естественном русле р. Камы (сценарий 2) и при крупномасштабной добыче ПГС в русле р. Камы (сценарий 2К).

Отметим, что за «0» на графиках взят 1851 км по судовому ходу на р. Кама.

Первый участок располагается в районе месторождений Симонихинское и Симонихинское-2, на графиках с 4 по 12 км (рис. 2-4). Максимальная просадка уровня воды на данном участке наблюдается на 12 км и составляет 15 см. По двумерной модели максимальная просадка уровня воды на данном участке наблюдается также на 12 км и равна 20 см.

Второй участок располагается в районе месторождения Верхне-Дулесовский, на графиках с 17 по 23,5 км (рис. 2-4). Максимальная просадка уровня воды на данном участке наблюдается на 23,5 км и составляет 41 см (по двумерной – 35 см). В то же время в начале участка на 17 км максимальная просадка уровня воды всего 13 см (18 см), то есть просадка собственно от месторождения Верхне-Дулесовский составляет 28 см.

Третий участок располагается в районе месторождений Макаровское и Гольяновское, на графиках с 31 по 40 км (рис. 2-4). Максимальная просадка уровня воды на данном участке наблюдается на 40 км и составляет 36 см (по двумерной – 28 см). В то же время в начале участка на 31 км максимальная просадка уровня воды всего 21 см (19 см), то есть просадка собственно от месторождений Макаровское и Гольяновское составляет 15 см (9 см).

Далее начиная с 40 км на графиках (рис. 2-4) видно, что уровень воды плавно старается приблизиться к первоначальному уровню воды при морфометрии без карьеров.

При этом максимальная наблюдаемая просадка уровня воды в районе нижнего бьефа Воткинской ГЭС всего 13 см (по двумерной модели – 15 см). То есть восстановление уровня воды на графиках от 40 км, где максимальная просадка уровня воды 36 см (28 см), происходит на 23 см (13 см).

Все это в общем говорит о том, что месторождения ПГС Волковское, Ольховское и Сивинское оказывают незначительное влияние на уровень воды в р. Кама в нижнем бьефе Воткинской ГЭС.

Также следует отметить опасный участок для судоходства, на графиках это участок с 42 по 49 км, где наблюдается наименьшая глубина реки, особенно, с 43,5 по 45 км (рис. 2-4). В то же время просадка уровня воды в связи с крупномасштабной добычей ПГС в данном районе составит порядка 25 см (по двумерной модели – 22 см).

Но самым важным лимитирующим участком является шлюз. В районе шлюза при постоянном расходе 1200 куб. м/с без отработки карьеров обеспечивается минимальная глубина 3,3 м. При полной отработке месторождений ПГС и при тех же расходах сброса воды с Воткинской ГЭС просадка воды в районе шлюза будет 13 см, что не обеспечивает минимальную глубину для прохождения судов. Для обеспечения глубин судоходства при полной отработке месторождений ПГС нужно увеличить постоянный сброс воды до 1500 куб. м/с.

Стоит отметить, что при тех же расхода воды (1200 куб. м/с) одномерная и двумерная модель дают значительно различающиеся значения просадки уровня воды. Уровень просадки воды при двумерном расчете меньше примерно на 5 см. Данное различие объясняется тем, что двумерная модель позволяет значительно более детально учитывать рельеф русла, чем одномерная модель.

Однако расчеты в двумерной модели более ресурсоемки по времени, а с учетом калибровки, верификации и проведения не одного, а множества расчетов, время работы с двумерной моделью составляет месяцы.

В то же время расчеты в одномерной модели, даже с учетом расчетов по уточнению параметров, калибровки, верификации и проведения не одного, а множества расчетов, занимают менее месяца.

Поэтому с учетом достаточно приемлемой сходимости результатов оценки уровня воды на моделях 1D- и 2D-постановках при решении данных задач использование моделей в 1D-постановке представляется более предпочтительным.

Выводы

Уровенный режим в нижних бьефах крупных гидроузлов определяется комплексом трех взаимосвязанных факторов:

- пропускной способностью русла;
- величиной и временем поддержания расхода сброса;
- уровнем воды на нижней границе расчетной области.

Изменение одного из них может обуславливать значительное изменение уровенного режима при поддержании стабильными других факторов.

Для оценки возможных последствий разработки новых русловых месторождений нерудных полезных ископаемых были созданы гидродинамические модели данного участка р. Камы в 1D (HEC RAS v.5.0.7) и 2D (SMS v.11.1) приближениях на основе лицензированных программных продуктов.

Выполненные многовариантные вычислительные эксперименты показали, что разработка только восьми месторождений (Волковское, Ольховское, Сивинский, Гольяновское, Макаровское, Верхне-Дулесовский, Симонихинское и Симонихинское-2) приведет к необходимости увеличения для поддержания судоходных глубин 3,3 м расхода

сбросов в нижний бьеф Воткинской ГЭС до 1800 м³/с при продолжительности сброса 12 часов или поддержания постоянного сброса 1500 м³/с при продолжительности не менее 24 часов.

В целом при решении проблемы добычи ПГС в нижнем бьефе Воткинской ГЭС возникает чисто оптимизационная задача, где должны рассматриваться и учитываться как минимум четыре компонента:

- экономический эффект добычи ПГС;
- потери от снижения устойчивого судоходства;
- экономические потери гидроэнергетики, связанные с поддержанием гарантированных глубин, путем увеличения расхода сброса через ГЭС;
- затраты на проведение руслорегулирующих работ, направленных на обеспечение гарантированных глубин судоходства.

В качестве рекомендации по обеспечению прохождения судов на участке р. Кама от шлюза Воткинской ГЭС до г. Сарапула предлагается поддерживать расход сброса в нижний бьеф Воткинской ГЭС постоянным не менее 1200 куб. м/с при продолжительности не менее 24 часов. Однако при полной добыче ПГС на разрабатываемых месторождениях данный вариант отпадает и нужно будет уже поддерживать постоянным расход сброса воды не менее 1500 куб. м/с при продолжительности не менее 24 часов.

В то же время следует указать, что при подъеме уровня воды на Нижнекамском водохранилище до проектных отметок в 68,00 м БС воздействие от разработки русловых месторождений нерудных строительных материалов перестанет быть доминирующим фактором, определяющим уровень режим в нижнем бьефе Воткинского водохранилища. Соответственно, разработка ПГС уже не будет влиять на поддержание гарантированных глубин для обеспечения устойчивости судоходства на данном участке р. Камы.

*Исследование выполнено при поддержке Минобрнауки
в рамках гос. задания № 0422-2019-0149-С-01.*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Васильев О.Ф., Годунов С.К., Притвиц Н.А., Темноева Т.А., Фрязинова И.Л., Шугрин С.М. Численный метод расчета распространения длинных волн в открытых руслах и приложение его к задаче о паводке // Доклады АН СССР. – 1963. – Т. 151. № 3. – С. 525-527.
2. Калинин Г.П., Кучмент Л.С. О численных методах решения уравнения Сен-Венана для расчета неустановившегося движения воды в реках // Метеорология и гидрология. – 1963. – № 6. – С. 3-9.
3. Кучмент Л.С. Расчеты неустановившегося движения воды в нижних бьефах ГЭС // Комплексное использование водных ресурсов и режимы Волжско-Камского каскада гидроэлектростанции: сб. ст. – М.: Энергия, 1967. –
4. Историк Б.Л. Расчет неустановившегося движения воды в открытых водотоках на электронных вычислительных машинах // Гидрология и водное хозяйство: [сб. ст.] / под ред. С.Н. Крицкого, М.Ф. Менкеля. – М.; Л.: Энергия, 1964. – С. 222-239. – (Труды Гидропроекта, Сб. 12.).
5. Грушевский М.С. Использование электронных цифровых машин для расчета неустановившегося движения воды в призматических руслах // Исследования русловых процессов и неустановившегося движения воды в открытых потоках: сб. ст. – Л., 1962. – (Труды Гос. Гидрологич. Ин-та, Вып. 94).
6. Mascarenhas F.C.B., Toda K., Miguez M.G., Inoue K. Flood Risk Simulation. – Southampton; Boston: WIT PRESS, 2005. – 436 p.
7. Лепихин А.П., Тиунов А.А., Возняк А.А. Особенности формирования и расчета обратных течений в Воткинском водохранилище (1D-постановка) // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – 2018. – № 5. – С. 21-36.

8. Двинских С.А., Клименко Д.Е., Ларченко О.В., Минкин К.А. Анализ русловых деформаций в нижнем бьефе Воткинского водохранилища // Четвертые Виноградовские чтения. Гидрология от познания к мировоззрению: сб. докл. Междунар. науч. конф. памяти выдающегося русского ученого Ю.Б. Виноградова / Санкт-Петербургский гос. ун-т. – СПб., 2020. – С. 600-605.
9. HEC-RAS River Analysis System: Hydraulic Reference Manual. Version 5.0 (CPD-69) / Gary W. Brunner. – February 2016. – 547 p.
10. RiverFlow2D Two-Dimensional River Dynamics Model: Reference Manual, August 2016. – URL: <http://www.hydronia.com>.

УДК 504.4.054:550.424.6

DOI:10.7242/echo.2021.1.8

ОЦЕНКА ПОСТУПЛЕНИЯ МЫШЬЯКА В ГИДРОСФЕРУ КИЗЕЛОВСКОГО УГОЛЬНОГО БАССЕЙНА

Н.Ф. Фетисова

Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация: Работа посвящена количественной и качественной оценке поступления мышьяка с кислыми шахтными водами Кизеловского угольного бассейна в поверхностную гидросферу. Масса выносимого с шахтными водами мышьяка определена с учетом объема изливов и концентраций растворенного вещества. Гидрогеохимическое моделирование, выполненное с помощью программного кода PHREEQC, показало, что основными неорганическими формами мышьяка в шахтных водах являются арсенаты.

Ключевые слова: Кизеловский угольный бассейн, кислые шахтные воды, мышьяк, форма нахождения, оценка массы поступления.

Мышьяк (As) является естественным компонентом земной коры и встречается в природе повсеместно. По оценкам ученых кларк As в верхней части континентальной земной коры изменяется в диапазоне 1,5-5,7 мг/кг [2]. Его поступление в окружающую среду обусловлено как естественными процессами, так и антропогенной деятельностью. Значительный вклад в загрязнение окружающей среды мышьяком вносит горнодобывающая промышленность. Мышьяк, наряду с другими металлами, является типичным загрязнителем, присутствующим в кислых шахтных водах.

Известно, что в небольших количествах мышьяк необходим для жизни. Природные минеральные воды, содержащие мышьяк, используются в лечебно-профилактических целях. Однако и очень малые дозы мышьяка могут оказывать пагубное воздействие, если их попадание в организм, например, с пищей или водой, происходит в течение длительного времени. Установлена связь между «хроническим» попаданием мышьяка в организм и раком кожи, печени, почек и мочевого пузыря. Выявлена связь между увеличением заболеваемости раком легких не только при вдыхании соединений мышьяка, но и при потреблении его с питьевой водой [9]. Предельно допустимая концентрация мышьяка (ПДК) в питьевых водах, утвержденная Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) и принятая в большинстве стран мира, составляет 0,01 мг/дм³ (Табл. 1). Безопасная концентрация As в водоемах рыбохозяйственного назначения не превышает 0,05 мг/дм³.

Мышьяк – это металлоид, относящийся к 15-й группе (по устаревшей классификации – к главной подгруппе пятой группы) периодической таблицы. Мышьяк ковалентно связывается с большинством металлов и неметаллов, а также