

УДК 502:556:5:51

## ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ РАССЕИВАЮЩИХ ВОДОВЫПУСКОВ ДЛЯ ОТВЕДЕНИЯ ИЗБЫТОЧНЫХ РАССОЛОВ В ВОДНЫЕ ОБЪЕКТЫ\*

© 2016 г. А.В. Богомолов<sup>1</sup>, А.П. Лепихин<sup>1,2</sup>, Т.П. Любимова<sup>3</sup>,  
А.А. Тиунов<sup>1</sup>, Я.Н. Паршакова<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ФГБУН «Горный институт Уральского отделения Российской академии наук», г. Пермь, Россия

<sup>2</sup> ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов», Камский филиал, г. Пермь, Россия

<sup>3</sup> ФГБУН «Институт механики сплошных сред Уральского отделения Российской академии наук», г. Пермь, Россия

**Ключевые слова:** регулируемый сброс, избыточные рассолы, калийная промышленность, ассимилирующая способность водоприемника, нормативы допустимых сбросов, гидродинамическое моделирование гидрологических процессов.

Технологические схемы обогащения калийных руд связаны с образованием избыточных рассолов, вследствие чего возникает проблема их утилизации. В статье рассмотрены особенности организации регулируемого сброса для условий Камского водохранилища (р. Камы) в районе Соликамско-Березниковского промышленного узла. В результате исследований выявлены тенденции изменения водности р. Камы в районе Соликамско-Березниковского промузла, выполнен расчет потенциальной ассимилирующей способности р. Камы как возможного водоприемника сточных вод. Рассмотрены основные принципы организации рассеивающего выпуска, а также различные конструкционные решения отведения высокоминерализованных стоков – избыточных рассолов, образующихся при обогащении калийного сырья. Отработка основных конструкционных решений выполнена на основе вычислительных экспериментов в 3D постановке. Выполнено гидродинамическое моделирование в двумерной постановке с целью анализа возможных зон загрязнения, создаваемых сбросом сточных вод. Проанализированы плюсы и минусы каждого из вариантов. Сделан вывод, что наиболее эффективными являются конструкции, предусматривающие поверхностный сброс высокоминерализованных сточных вод, но при этом их сложно реализовать в условиях рассматриваемого участка водохранилища. Легко реализуемой с достаточно высокой эффективностью работы является схема с придонным расположением выпускного устройства с применением селективного способа забора рассолов из шламохранилища. Независимо от выбранной схемы

\* Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФН (проект № 14-17-00672) и гранта РФФИ-Урал № 16-41-59-0006

отведения высокоминерализованных сточных вод их сброс необходимо производить с жесткой увязкой с гидрологическим режимом водоприемника. Это позволит более полно использовать ассимилирующую способность водного объекта и снизить экологическую нагрузку.

Характерной особенностью современных технологий производства калийных удобрений является наличие такой важной операции, как обогащение извлекаемых руд. Производство готового коммерческого продукта проводится в водных растворах. Использование таких схем обогащения приводит к образованию больших объемов избыточных рассолов ~ 1 м<sup>3</sup> на 1 т готовой продукции. Широкое внедрение сухих, не водных схем обогащения не только требует принципиального изменения существующей технологии, но, самое главное, они чувствительны к качественному составу добываемых руд. Поэтому технологическая схема обогащения, хорошо отработанная на одном составе руды, оказывается часто совершенно не эффективной при переходе на другой их состав. В настоящее время остро стоит задача разработки систем экологической безотходной утилизации образующихся в результате обогащения руды избыточных рассолов.

Каких-либо значительных прорывов в решении данной проблемы в последние годы не сделано [1–3]. В подтверждение этого приведем слова г-на Д. Фридриха – директора рудника Ellers около г. Фульда о проблеме отведения рассолов в р. Верра: «Мы проработали 16 сценариев и все же трубопровод – это единственный приемлемый вариант» [4]. Выполненный анализ мирового опыта по решению проблемы утилизации избыточных рассолов показал, что применительно к условиям Верхнесоликамского месторождения калийных и магниевых солей наиболее приемлемым способом является отведение избыточных рассолов в поверхностные водные объекты.

В работах [5–7] показано, что одним из эффективных подходов к утилизации таких специфических сточных вод является их регулируемость в зависимости от особенностей гидрологического и гидрохимического режимов водотоков-приемников. При этом необходимо учитывать характерную специфическую особенность данных стоков – очень высокую плотность. Гидродинамические аспекты описания поведения избыточных рассолов в водных объектах рассматриваются в [7, 8]. Возможность самой реализации регулируемого отведения сточных вод открывалась изменениями, внесенными в Методику [9] по приказу Минприроды России № 339 от 29.07.2014 [10]. Обсуждение данных изменений в части реализации регулируемого сброса сточных вод, открываемых указанным приказом, дается в [11].

Для того, чтобы иметь возможность использовать в достаточной мере ассимилирующий потенциал водного объекта, необходимо, согласно

действующим нормативным документам [9], обеспечить требуемое начальное смешение отводимых сточных вод. Традиционно эффективное начальное смешение обеспечивается различными конструкциями рассеивающих водовыпусков. Большое количество их конструктивных решений рассмотрено в [12–15]. Однако абсолютное большинство из них ориентировано на отведение сточных вод с нейтральной или близкой к нейтральной плавучестью. В то же время отводимые избыточные рассолы, вследствие их очень высокой минерализации, характеризуются высокой плотностью, что определяет характер их распространения в водных объектах. Ранее выполненные исследования [6–8] показали, что отводимые рассолы без предварительного существенного начального разбавления могут распространяться на большое расстояние в придонной области, создавая значительную нагрузку на бентосную биоту. Все это требует отработанной специальной системы водоотведения, удовлетворяющей указанным выше условиям.

При этом сама процедура выбора размещения рассеивающего выпуска на водохранилищах речного типа достаточно жестко регламентирована рекомендациями [12]. Створ выпуска располагают на устойчивых или слабо деформируемых участках, где затопленное русло реки не подвергается занесению наносами и размывам, но подходит, по возможности, ближе к берегу, а на затопленной пойме нет стариц, рукавов, высоких прирусловых валов, торфяных массивов и застойных зон. Глубины над затопленной поймой вполне доступны для производства строительных работ. Место размещения рассеивающей части выпуска сточных вод выбирается с учетом основных предъявляемых к выпускам требований и требований к выбору мест размещения выпуска на береговом участке водоема. Рассеивающую часть выпуска следует ориентировать по нормали к изобатам в местах, где зона больших глубин располагается возможно ближе к берегу. На водохранилищах речного типа с затопленной поймой рассеивающую часть выпуска следует располагать в непосредственной близости к затопленному руслу, но в удалении от островов и подводных мелей, замедляющих перенос вод и ухудшающих перемешивание сточных вод. Нежелательно размещать выпуск в зоне выклинивания подпора, где возможны деформации русла и заносимость его наносами.

Во время исследования был проведен расчет потенциальной ассимилирующей способности Камского водохранилища (р. Камы) в районе Соликамско-Березниковского промышленного узла. Расчеты выполнялись на основе анализа всей имеющейся информации о гидрологическом и гидрохимическом режимах р. Камы (Камского водохранилища), включая материалы Государственного мониторинга за гидрологическим и гидрохимическим режимами Камского водохранилища (р. Камы). Анализ исходных

материалов показал, что в последние годы наблюдается существенный статистически значимый рост минимальных расходов воды в р. Каме в районе Соликамско-Березниковского промышленного узла, что благоприятно влияет на снижение остроты экологической ситуации.

Проведенные расчеты потенциальной ассимилирующей способности Камского водохранилища (р. Камы) показали: особенности гидрологического и гидрохимического режимов Камского водохранилища (р. Камы) в районе Соликамско-Березниковского промышленного узла при эффективном водовыпуске позволяют производить сброс сточных вод с высокой минерализацией без превышения в контрольном створе соответствующих экологических нормативов. Режим сброса сточных вод должен осуществляться на основе диспетчерского графика в зависимости от расхода р. Камы. Конкретные параметры данного графика должны быть разработаны для каждого выпускного устройства в зависимости от его расположения и с учетом принятых конструктивных схем оголовков рассеивающего водовыпуска.

Расход р. Камы в районе Соликамско-Березниковского промузла характеризуется существенной внутригодовой неравномерностью. Если расход в период зимней межени ноябрь–март колеблется, как правило, в диапазоне 150–200 м<sup>3</sup>/с, то во время прохождения весеннего половодья (май–июнь) даже в годы с предельно низкой водностью составляет 1500–2000 м<sup>3</sup>/с. При этом необходимо учитывать, что фоновое содержание лимитирующих ингридиентов также существенно зависит от водности (расходов р. Камы).

Так как в настоящее время нет отработанных типовых конструкторских решений по отведению очень плотных сточных вод, допускающих широкий диапазон расходов сбросов, необходимо было, в первую очередь, выбрать и оценить возможные схемы водоотведения, удовлетворяющие указанным выше требованиям и обеспечивающие эффективное начальное разбавление.

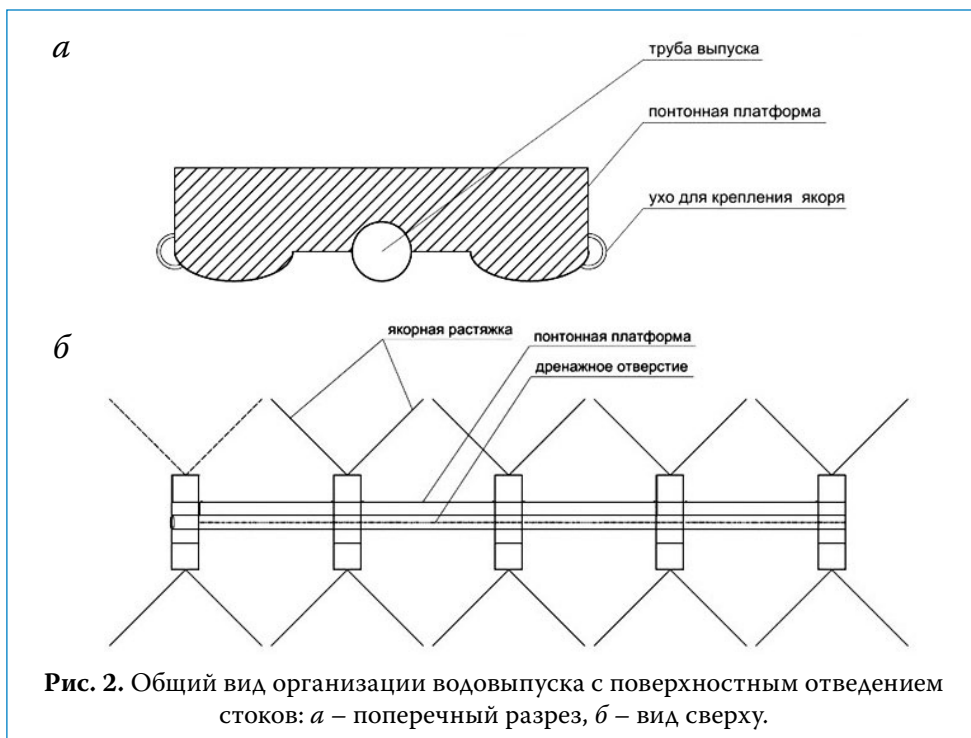
Предложены и проанализированы три принципиально различные технологические схемы отведения рассматриваемых избыточных рассолов в р. Каму (Камское водохранилище), обеспечивающие нормативное качество воды в контрольных створах:

1. Предварительное снижение минерализации и плотности отводимых стоков, достижение их нейтральной плавучести путем механического смешения в соотношении 1:100 с речной водой в береговом резервуаре. Затем сточные воды с плавучестью, близкой к нейтральной, отводятся в приемник сточных вод через типовой рассеивающий водовыпуск (рис. 1).

2. Создание линейного подвижного поверхностного водовыпуска, обеспечивающего эффективность начального смешения вследствие конвективного осаждения тяжелых рассолов (рис. 2).

3. Организация водовыпуска, эффективность начального смешения которого осуществляется путем создания организованных высокоскоростных струй из придонного коллектора (рис. 3).

Каждое предлагаемое техническое решение имеет как положительные, так и отрицательные или очень сложно реализуемые условия, их укрупненный анализ дается в таблице.



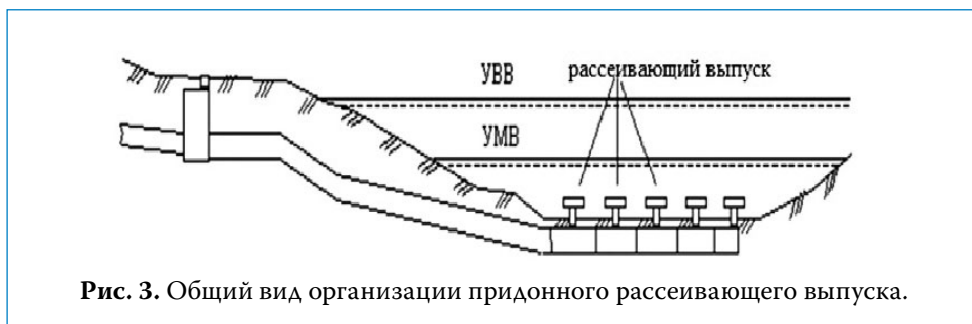


Рис. 3. Общий вид организации придонного рассеивающего выпуска.

Все предложенные технологические решения представляют собой линейно организованные выпускные устройства. Данная организация рассеивающего водовыпуска позволяет обеспечивать требуемое начальное разбавление в широком диапазоне расходов отводимых сточных вод и их высокой плотности. При этом они могут быть как с поверхностным размещением рабочего органа, так и придонным. Как не трудно заметить, при обеспечении полного смешивания в створе начального разбавления расчетная кратность разбавления должна составлять

$$n = \frac{L_{\text{вып}} \cdot H \cdot V \cdot (C_{\text{ПДК}} - C_{\text{ф}})}{q_{\text{сб}} \cdot (C_{\text{сб}} - C_{\text{ПДК}})} \quad (1)$$

где  $q_{\text{сб}}$  – расход сброса рассолов, м<sup>3</sup>/с;

$C_{\text{сб}}$  – концентрация лимитирующего загрязняющего ингредиента в отводимых рассолах, г/л;

$C_{\text{ПДК}}$  – предельно-допустимая концентрация принятого лимитирующего загрязняющего ингредиента, г/л;

$C_{\text{ф}}$  – фоновая концентрация, г/л;

$L_{\text{вып}}$  – протяженность активного участка линейного рассеивающего водовыпуска (участок трубопровода, где непосредственно происходит сброс сточных вод), м;

$H$  – средняя (эффективная) глубина водотока на участке размещения водовыпуска, м;

$V$  – средняя (эффективная) скорость течения на участке размещения водовыпуска, м.

В данном выражении (1) переменной является  $q_{\text{сб}}$ . Соответственно, для обеспечения требуемого начального разбавления  $n_{\text{тр}}$  максимальная протяженность активного участка линейного рассеивающего водовыпуска определяется содержанием лимитирующего загрязняющего компонента в отводимых рассолах и его ПДК

**Таблица.** Сопоставительный анализ предлагаемых технических решений по обеспечению нормативного качества воды в контрольном створе рассеивающего водовыпуска

№ технической схемы	Техническое решение	«за»	Аргументы	«против»
1	Предварительное снижение минерализации путем механического смешения отводимых рассолов с речной водой в береговом резервуаре	Значительное упрощение конструктивно-го решения. Возможность использования типовых схем организации рассеивающих водовыпусков. Обеспечение равномерного распределения по глубине потока содержания лимитирующих ингредиентов в воде р. Камы, благодаря предварительному доведению отводимых стоков до нейтральной плаучести	В соответствии с действующими нормативно-методическими документами по регламентации водопользования [12]* для забора воды необходимо заключение специального договора водопользования. При этом очень высокая стоимость забираемой воды, используемой на предварительное разбавление отводимых рассолов в береговом резервуаре	
2	Организация линейного поверхностного рассеивающего водовыпуска	Значительное и эффективное начальное разбавление отводимых рассолов за счет конвективных эффектов не требует обеспечения высоких скоростей выпуска сточных вод через рабочие форсунки, подерживая высокое давление в подводящем коллекторе	Технически не отработаны: – организация поверхностного водовыпуска при ~ 8 м внутритокном колебании уровня – обеспечение надежности рабочей конструкции при становлении ледостава и прохождении весеннего ледохода	
3	Организация линейного придонного рассеивающего водовыпуска	Устойчивость работы во все сезоны года независимо от уровня режима и ледовых явлений	Необходимость высоких энергозатрат для поддержания высоких скоростей выброса сточных вод из рабочих форсунок. Наличие существенного неравномерного распределения минерализации и содержания лимитирующих ингредиентов по глубине потока в контрольном створе вследствие плотностных эффектов	

*Примечание:* \*Согласно п. 5 ст. 11 Водного кодекса [16] «не требуется заключения договора водопользования или принятия решения о предоставлении водного объекта в пользование, если водный объект использовался для забора (изъятия) водных ресурсов для санитарных, экологических и (или) судоводных пропусков (сброса) воды». Однако как в самом Водном кодексе, так и в комментариях экологический попуск (сброс) трактуется исключительно как сброс из водохранилища для поддержания состояния водных объектов в соответствии с экологическими требованиями.

$$\max L_{\text{вып}} = \frac{n_{\text{тр}} \cdot q_{\text{сб}} \cdot (C_{\text{сб}} - C_{\text{ПАК}})}{H \cdot V \cdot (C_{\text{ПАК}} - C_{\text{ф}})} \quad (2)$$

В зависимости от расхода отводимых рассолов  $q_{\text{сб}}$  протяженность рабочего модуля должна изменяться. При малых расходах воды в Камском водохранилище (р. Каме) и, соответственно, малых расходах сброса протяженность рабочего участка минимальна, при высоких расходах – максимальная протяженность рабочего модуля.

Существенным фактором, повышающим эффективность регулируемого отведения избыточных рассолов, является его совмещение с селективным отбором отводимых стоков из шламохранилища. Вследствие различного генезиса поступающих в шламохранилище сточных вод, высокой плотности рассолов распределение минерализации и, соответственно, содержания рассолов, как правило, существенно неоднородно по глубине. Менее плотные стоки расположены в поверхностных горизонтах, а более плотные – в придонных. Так как для технологических целей целесообразно использование наиболее концентрированных, плотных рассолов, а для отведения в водные объекты – наименее концентрированных, представляется крайне целесообразной организация селективного (выборочного) отбора отводимых рассолов. Данная схема в сочетании с регулируемым сбросом позволяет значительно снизить экологические нагрузки на основной водный объект – приемник сточных вод Соликамско-Березниковского промышленного узла – р. Каму (Камское водохранилище).

Помимо принципиальных особенностей каждой из представленных схем выполнена оценка эффективности их работы. При отработке технологических и конструктивных решений проведение натурных экспериментов практически невозможно из-за их громоздкости, необходимости соблюдения водного законодательства в части охраны вод, а лабораторные исследования весьма не корректны из-за сложности одновременного обеспечения подобия по комплексу динамических (чисел Рейнольдса  $Re$ , Фруда  $Fr$ ), а также плотностных критериев (числа Ричардсона  $Ri$ ). Поэтому в качестве основного инструмента решения поставленной задачи были использованы вычислительные эксперименты на современном суперкомпьютере (кластер Уран ИММ УрО РАН). Вычислительный эксперимент реализован на основе сопряжения гидродинамических моделей в 1-, 2- и 3-мерной постановках. Технология таких расчетов неоднократно обсуждалась в отечественных и зарубежных изданиях [17–20]. Необходимость такого подхода обусловлена крайней ограниченностью действующей наблюдательной сети в пределах Соликамско-Березниковского промузла, доступных вычислительных ресурсов и очень высокими требованиями к проведению расчетов в 3D постановке, а также особенностью поведения высокоминерализованных рассолов.

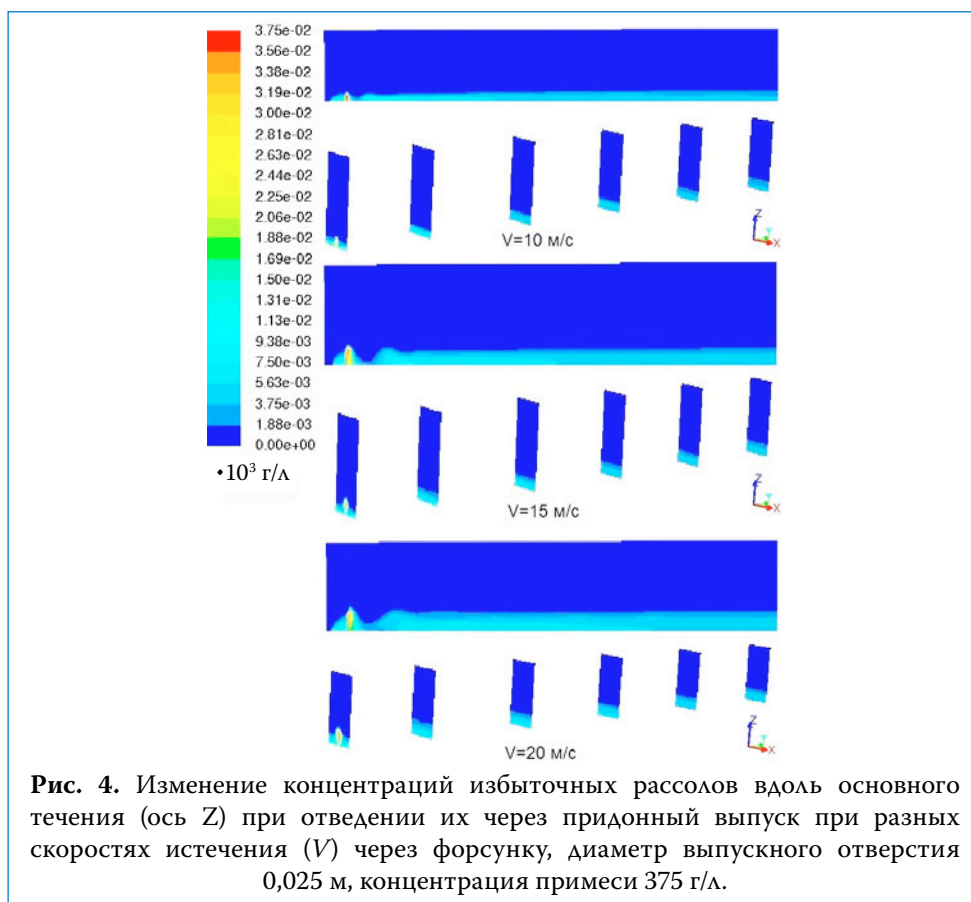


Разработка трехмерных гидродинамических моделей проводилась с помощью пакета прикладных программ ANSYS Fluent, основанного на реализации метода конечных объемов. Расчетная область разбивалась на ячейки со сгущением вблизи выпускного отверстия. На рис. 4–6 приведены полученные в расчетах поля концентрации примеси в вертикальном сечении вдоль основного течения (ось  $Y$ ), проходящем через середину выпускного отверстия для различных значений скорости выпуска рассола, диаметра выпускного отверстия и концентрации примеси. Линейные размеры расчетного участка составляют 100 м. На рис. 4 приведены также вертикальные сечения поперек основного течения, расположенные через 20 м друг относительно друга (оси  $X$ – $Y$ – $Z$ ). Рисунок характеризует придонную организацию рассеивающего выпуска при различных заданных скоростях излива через единичное отверстие выпуска, наблюдается значительная неоднородность распределения примеси по глубине: тяжелая примесь скапливается у дна и переносится потоком, практически не меняя концентрации. Проведенная оценка неоднородности концентрации по глубине показала, что на малых расстояниях (порядка нескольких метров) от источника концентрация примеси на дне превосходит значение концентрации вблизи поверхности в десятки раз. Далее происходит разбавление, причем в контрольных сечениях значение концентрации на дне остается практически неизменным.

Для сравнения проводились также расчеты для случая нейтральной плавучести, когда плотность выпускаемого рассола совпадает с плотностью воды в реке. Именно для подобных сбросов разработаны все типовые конструкции отведения стоков. Поле концентрации для этого случая приведено на рис. 5. В данном случае наблюдается абсолютно иная картина: в зоне начального разбавления (район водовыпуска) происходит значительное снижение концентраций. В контрольном створе концентрации загрязняющих веществ не превышают предельно-допустимых величин. Данный вариант характеризует схему отведения избыточных рассолов с их предварительным принудительным разбавлением.

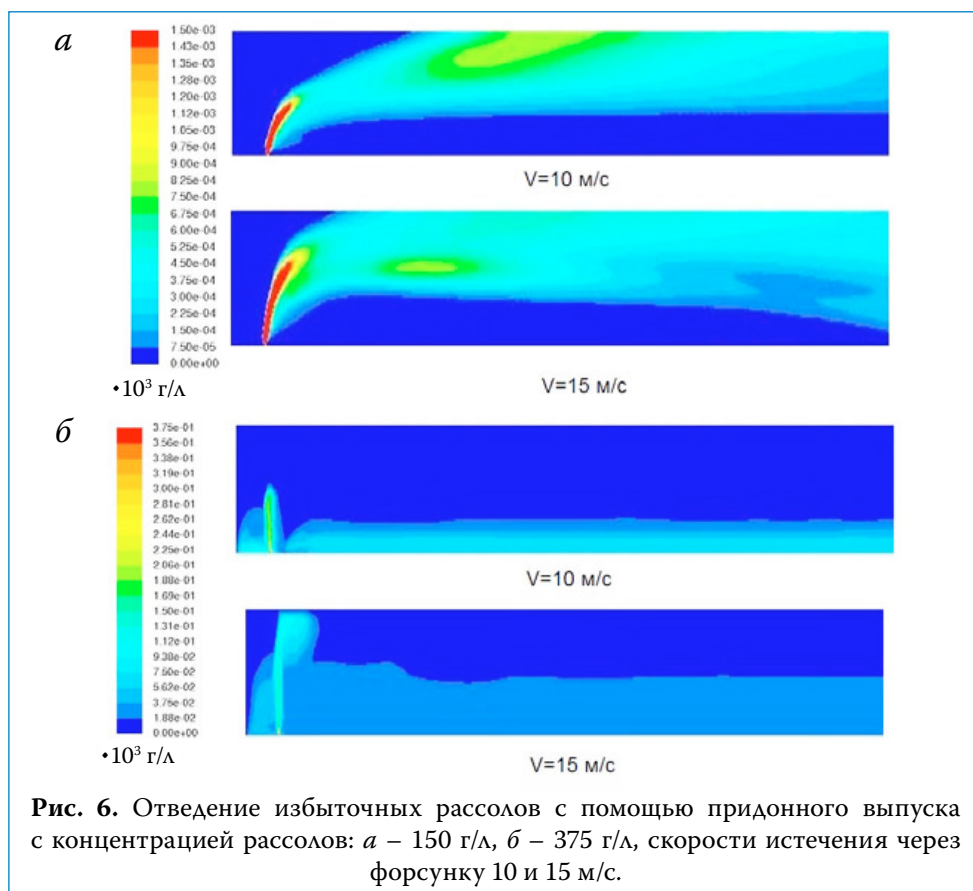
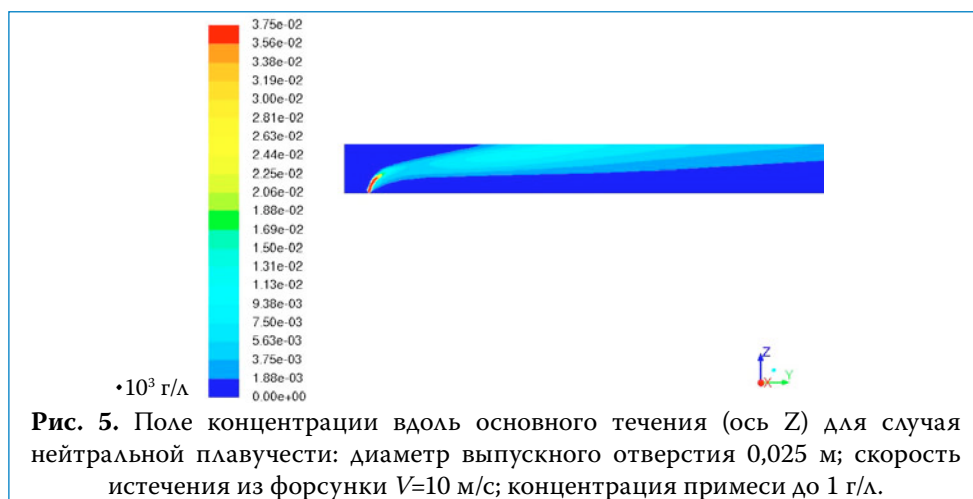
С целью оценки эффективности использования селективного метода отбора рассолов из шламохранилищ были выполнены модельные расчеты для различных концентраций рассолов (рис. 6а и 6б).

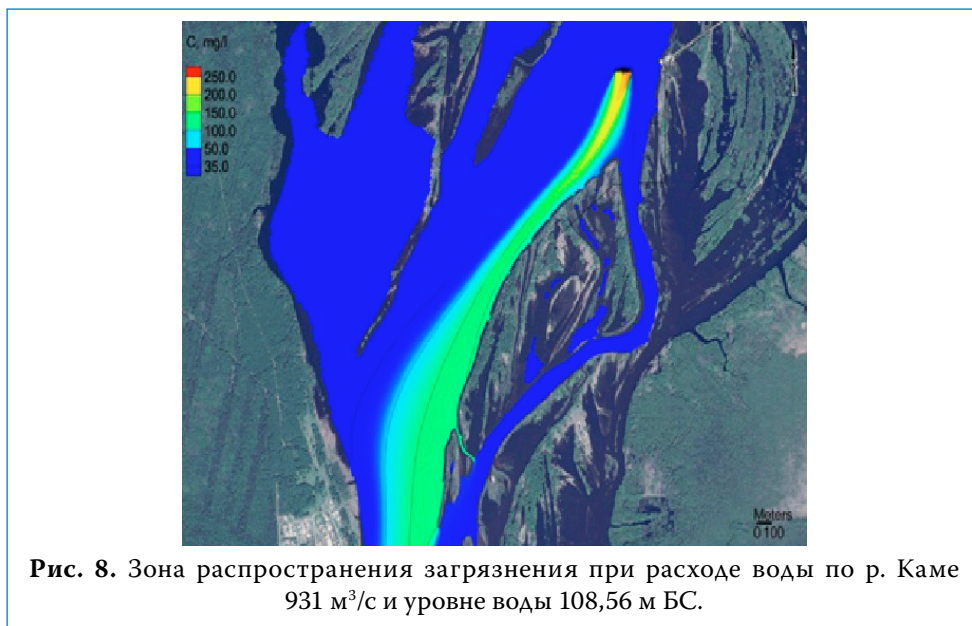
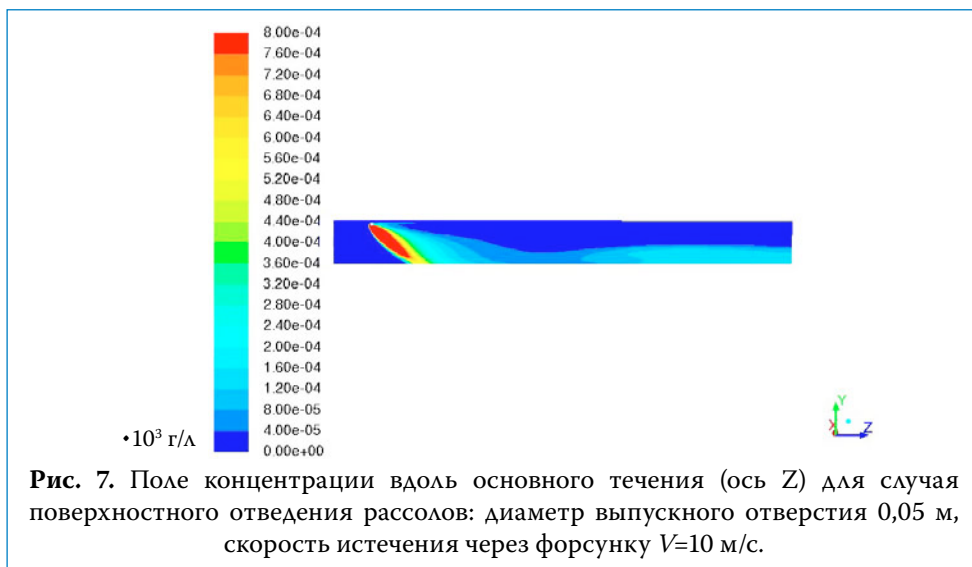
Результаты моделирования показали, что при одинаковых расходах сбросов с различными концентрациями (рис. 6а – концентрации рассолов, характерные для поверхностных слоев в шламохранилищах; рис. 6б – концентрации рассолов, характерные для придонных слоев в шламохранилищах) в контрольных створах наблюдаются разные картины. В первом случае (рис. 6а) наблюдается картина, близкая к случаю сброса стоков с нейтральной плавучестью, т. е. значительное разбавление в зоне первичного переме-



шивания и достижение в контрольном створе нормативных показателей. Во втором наблюдается картина осаждения высокоминерализованных стоков в придонные слои непосредственно в районе сброса. При этом в створе, расположенном в 100 м ниже места сброса, в случае сброса избыточных рассолов из придонных слоев шламохранилища (рис. 6б) концентрации в 2–3 раза выше, чем в случае сброса рассолов из поверхностных слоев (рис. 6а).

Также были выполнены модельные расчеты поля концентраций при поверхностном отведении избыточных рассолов (рис. 7). Результаты показывают, что при поверхностном отведении рассолов мы имеем более низкие концентрации в зоне начального разбавления, что обусловлено более низкими требуемыми скоростями истечения из выпускных отверстий. Соответственно, в контрольном створе будут наблюдаться также более низкие концентрации загрязняющих веществ относительно первого рассмотренного варианта.





Для оценки зоны распространения загрязнения были использованы результаты двумерного моделирования (рис. 8). Так как рассматриваемая область размещения водовыпуска является зоной переменного подпора Камского водохранилища, поэтому моделирование зон загрязнения проводилось для различных гидрологических и метеорологических условий.

На рисунке представлены результаты моделирования для сценария, наиболее характерного для периода летней межени, без учета ветрового воздействия. Полученные данные показали, что в большинстве рассмотренных вариантов не наблюдается превышений предельно допустимых концентраций, если рассматривать концентрации, осредненные по всей глубине потока. В случае неблагоприятных метеорологических условий (южный ветер 15 м/с) наблюдается очень незначительное распространение загрязняющих веществ выше по течению.

Анализ представленных конструкторских и технологических решений организации сброса избыточных рассолов показал, что для условий Камского водохранилища (р. Камы) в районе Соликамско-Березниковского промышленного узла приоритетным может считаться вариант с придонным отведением стоков. Это обусловлено особенностями гидрологического режима рассматриваемого водоприемника – значительными внутригодовыми колебаниями уровня воды и ледовым режимом. В данном случае при сбросе избыточных рассолов необходимо использовать селективный отбор отводимых стоков из шламохранилища, что в значительной мере повысит эффективность работы данного сбросного устройства.

Реализация регулируемого сброса возможна лишь при условии соотношения объемов сбросов сточных вод с реальными расходами воды в водоприемнике. В представленной работе использовались результаты численного моделирования, характеризующие распределение концентрации по глубине и по акватории в результате сброса сточных вод в водоприемник. Эти данные позволяют аргументированно выбрать оптимальную конструкцию и схему отведения избыточных рассолов.

Регулируемый сброс избыточных рассолов в зависимости от гидрологического и гидрохимического режимов водотоков-приемников позволяет значительно более полно использовать их ассимилирующий потенциал и без проведения каких-либо других дополнительных водоохраных мероприятий способен существенно снизить максимальные пики концентрации загрязняющих веществ, наблюдающиеся при минимальных расходах водотоков-приемников.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Mousa S. Mohsen, Jamal O. Jaber.* Potential of industrial wastewater reuse // *Desalination.* 152 (2002). P. 281–289.
2. *Environmental Aspects of Phosphate and Potash Mining.* United Nations Environment Programme International Fertilizer Industry Association. Division of Technology, Industry and Economics. Printed by UNEP and IFA, Paris, December 2001.

3. Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC). Technical Guidance on the Preparation of an Inventory of Emissions, Discharges and Losses of Priority and Priority Hazardous Substances. European Communities, 2012.
4. CDU-Politiker bei K+S: «Entsorgung Haldenwasser“ und Pipeline oberste Priorität. Режим доступа: <http://osthessen-news.de/beitrag.php?id=1180100>
5. Лепихин А.П., Вагнер Н.В., Панькова О.И. Гидрологические аспекты организации регулируемого сброса сточных вод в водотоки (на примере БКРУ-4 г. Березники) // Водное хозяйство России. 2002. Т. 4, № 6. С. 516–529.
6. Лепихин А.П., Любимова Т.П., Паршакова Я.Н., Тиунов А.А. К проблеме отведения избыточных рассолов предприятиями калийной промышленности в водные объекты // Водное хозяйство России. 2010. № 3. С. 57–74.
7. Лепихин А.П., Любимова Т.П., Паршакова Я.Н., Тиунов А.А. К проблеме утилизации избыточных рассолов предприятиями калийной промышленности в водные объекты // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2012. № 2. С. 185–193.
8. Любимова Т.П., Лепихин А.П., Паршакова Я.Н., Тиунов А.А. Численное моделирование разбавления и переноса высокоминерализованных рассолов в турбулентных потоках // Вычислительная механика сплошных сред – Computational Continuum Mechanics. 2010. Т. 3. № 4. С. 68–79.
9. Методика разработки нормативов допустимых сбросов веществ и микроорганизмов в водные объекты для водопользователей. Утв. приказом Минприроды России от 17.12.2007 № 333.
10. О внесении изменений в приказ Министерства природных ресурсов Российской Федерации от 17 декабря 2007 г. № 333 «Об утверждении Методики разработки нормативов допустимых сбросов веществ и микроорганизмов в водные объекты для водопользователей». Приказ Минприроды России от 29.07.2014 № 339.
11. Венецианов Е.В., Лепихин А.П., Губернаторова Т.Н., Богомолов А.В. О внесении дополнений в методики НДС в отношении регулируемого сброса сточных вод их накопителей // Водное хозяйство России. 2015. № 5. С. 55–69.
12. Рекомендации по размещению и проектированию рассеивающих выпусков сточных вод. М.: Стройиздат, 1981. 224 с.
13. Рекомендации по расчету рассеивающих выпусков сточных вод в реки и водоемы. М.: Госстрой СССР, 1977. 64 с.
14. Лапшев Н.Н. Расчеты выпусков сточных вод. М.: Стройиздат, 1977. 87 с.
15. Типовые узлы и детали сооружений. Серия 4.902-11. Детали и узлы рассеивающих водовыпусков сточных вод. Техно-рабочий проект. Введен в действие 15.03.1977. Дата окончания срока действия 01.12.1988.
16. Водный кодекс Российской Федерации от 03.06.2006 № 74-ФЗ (ред. от 28.11.2015).
17. Лепихин А.П., Любимова Т.П., Паршакова Я.Н., Тиунов А.А. Комбинированный подход к описанию плотностных эффектов разбавления и переноса высокоминерализованных рассолов в водных объектах // Вестник Пермского ун-та. Серия: Математика. Механика. Информатика. 2011. № 5. С. 130–134.

18. Лепихин А.П., Любимова Т.П., Лепешкин С.А., Тиунов А.А., Паршакова Я.Н., Перепелица Д.И. К проблеме оценки последствий крупномасштабной добычи нерудных строительных материалов на поверхностные водные объекты // Водное хозяйство России. 2014. № 3. С. 108–119.
19. Lyubimova T.P., Lepikhin A.P., Tiunov A.A., Parshakova Ya.N. Formation of the density currents in the zone of confluence of two rivers // J. of Hydrology. 2014. Vol. 508. P. 328–342.
20. Lyubimova T.P., Lepikhin A.P., Tiunov A.A., Parshakova Ya.N. The risk of river pollution due to washout from contaminated floodplain water bodies during periods of high magnitude floods // J. of Hydrology. 2016. Vol. 534. P. 579–589.

#### **Сведения об авторах:**

Богомолов Андрей Владимирович, младший научный сотрудник, ФГБУН «Горный институт Уральского отделения Российской академии наук», Россия, 614007, г. Пермь, ул. Сибирская, 78А; e-mail: whitewing85@mail.ru

Лепихин Анатолий Павлович, д-р геогр. наук, профессор, заведующий лабораторией, ФГБУН «Горный институт Уральского отделения Российской академии наук», 614007, г. Пермь, ул. Сибирская, 78А; директор, ФГБУ РосНИИВХ, Камский филиал (КамНИИВХ), 614007, г. Пермь, ул. Народовольческая, 33; e-mail: lepin49@mail.ru

Тиунов Алексей Александрович, инженер, ФГБУН «Горный институт Уральского отделения Российской академии наук», Россия, 614007, г. Пермь, ул. Сибирская, 78А; e-mail: anywinu@hotmail.com

Любимова Татьяна Петровна, д-р физ.-мат. наук, профессор, заведующий лабораторией, ФГБУН «Институт механики сплошных сред Уральского отделения Российской академии наук» (ИМСС УрО РАН), Россия, 614013, г. Пермь, ул. Ак. Королева, 1; e-mail: lubimova@psu.ru

Паршакова Яна Николаевна, канд. физ.-мат. наук, научный сотрудник, ФГБУН «Институт механики сплошных сред Уральского отделения Российской академии наук» (ИМСС УрО РАН), Россия, 614013, г. Пермь, ул. Ак. Королева, 1; e-mail: parshakova@icmm.ru