

Причина формирования и процесс развития этой структуры рассматривался нами ранее (Трапезников, 2015). Тем не менее, требуются дополнительные исследования для составления наиболее полной историко-геологической и структурной модели Камско-Вишерской соляной гряды.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 18-05-00046).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Горецкий Г.И. Аллювий великих антропогенных прарек Русской равнины: Прареки Камского бассейна. – М.: Наука, 1964. – 416 с.: ил.
2. Кассин Г.Г., Шершнева К.С. Разломы Среднего Приуралья // Разломы земной коры Урала и методы их изучения / УНЦ АН СССР. – Свердловск, 1983. – С. 84-88.
3. Копнин В.И. Условия седиментации кунгурских соленосных отложений в Соликамской впадине Предуральяского прогиба // Нижнепермские отложения Камского Предуралья. – Пермь, 1973. – С. 221-238. – (Тр. ВНИГНИ (Камское отд-ние). Вып. 118).
4. Кудряшов А.И. Верхнекамское месторождение солей. – 2-изд., перераб. – М.: Эпсилон Плюс, 2013. – 368 с.
5. Проворов В.М. Основные черты тектоники нижнепермских отложений и ее связь с глубинным строением Среднего Приуралья // Нижнепермские отложения Камского Предуралья. – Пермь, 1973. – С. 28-48. – (Тр. ВНИГНИ (Камское отд-ние). Вып. 118).
6. Трапезников Д.Е., Чайковский И.И. О природе псевдодиапировых структур западного борта Соликамской впадины // Тектоника и геодинамика континентальной и океанической литосферы: общие и региональные аспекты: материалы XLVII тектонического совещ. – М., 2015. – Т. 2. – С. 249-252.

УДК 556.556

DOI: 10.7242/echo.2019.2.2

ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ И ХАРАКТЕР СТРУКТУРЫ ТЕЧЕНИЙ В ЗОНЕ СЛИЯНИЯ РЕК ЧУСОВАЯ И СЫЛВА, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИХСЯ РАЗЛИЧНОЙ ПЛОТНОСТЬЮ ВОДЫ

А.В. БОГОМОЛОВ, А.П. ЛЕПИХИН

Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация: Реки Сылва и Чусовая, при близости гидрологических параметров, характеристик характеризуются, вследствие существенного различия почвенно – геохимических условий их водосборных территорий, характеризуются существенно различающимися гидрохимическим режимом. Так как их устьевые участки находятся в зоне подпора от плотины Камской ГЭС, то их скоростной режим в зимний период, в зоне слияния, очень существенно влияют плотные эффекты. Выполненные натурные измерения с использованием современных гидрометрических измерителей, показали что структура течений имеет весьма сложный вихревой характер. При этом измеренные скорости течений более чем на порядок превышают их оценочные величины следующие из простейших балансовых соотношений. Так как основной водозабор г. Перми расположен непосредственно ниже слияния этих водотоков, полученные результаты имеют существенное значение для повышения устойчивости его функционирования в зимний период.

Ключевые слова: Камское водохранилище, плотностная стратификация, скоростной режим, слияние рек, питьевой водозабор г. Перми.

Структура характер течений в поверхностных водных объектах имеет принципиальное значение для формирования их гидрохимического режима, а соответственно и потребительских свойств. Водоснабжение города Перми, как питьевое так и промышленное, основано на использовании воды из поверхностных источников. При основной водозабор, через который поступает более 70% потребляемой городом воды, расположен непосредственно ниже слияния, находящихся подпора от Камской ГЭС, рек Сылва и Чусовая.

Минерализация, а соответственно и плотность воды р. Сылвы вследствие особенностей почвенно-геологического строения ее бассейна, из-за его высокой закарстованности, как правило, существенно выше минерализации р. Чусовой [1,2]

Данное существенное различие плотностей двух сливающихся водотоков в условиях, когда их устьевые участки находятся в зоне подпора от Камской ГЭС, приводит к весьма специфическому гидрохимическому режиму Чусовского плеса. Более минерализованные, более плотные воды р. Сылвы «подтекают» под менее плотные воды р. Чусовой, в свою очередь воды р. Чусовой «надтекают» на воды р. Сылвы. Гидрологические, гидрохимические, гидродинамические аспекты слияния этих двух водотоков обсуждались в [1,2,3]. Соответственно ниже слияния рр. Сылвы и Чусовой, в том числе и в районе размещения Чусовского водозабора г. Перми, наблюдается достаточно устойчивая двухслойная структура водной массы, когда в верхних горизонтах вода по своим свойствам близка к воде р. Чусовой, а в нижних горизонтах – к воде р. Сылва. При этом наблюдается весьма отчетливо выраженная граница между этими водными массами. В дальнейшем изложении данная граница будет обозначаться как «слой скачка».

Так как основным лимитирующим гидрохимическим показателем качества воды на данном рассматриваемом водозаборе является жесткость воды, очень тесно связанная с минерализацией, то данная неоднородность может использоваться для улучшения потребительских свойств отбираемой воды [1,2]. Для обеспечения требуемого качества воды ее следует отбирать из верхних, менее минерализованных слоев воды. Эти предложения и особенности их реализации обсуждались в [1, 2,3]. В настоящее время это схема забора воды путем организации селективного водозабора успешно реализована в виде создания вокруг водозаборных оголовков донных барьеров, способных отсекают забор воды из нижних горизонтов [4].

Важнейшим фактором, определяющим устойчивость функционирования данной схемы забора воды является устойчивость расположения слоя скачка в условиях очень существенного колебания как уровня режима Чусовского плеса Камского водохранилища, так расходов воды рр. Сылва и Чусовой. Для решения этой принципиальной для обеспечения устойчивости водоснабжения г. Перми, задачи, в настоящее время отрабатываются на основе проведения многовариантных расчетов на основе гидродинамических моделей, рассматриваемого участка Камского водохранилища в 3D постановке не адиабатическом приближении [3,4].

Для оценки адекватности, корректности модели, калибровки ее параметров принципиальное значение имеет инструментальное измерение гидродинамических параметров и последующее сопоставления их с расчетными значениями.

Таким образом цель работы является инструментальная оценка скоростных характеристик водотока в зоне слияния рек Сылва и Чусовая и а так же в районе расположения Чусовского водозабора, в лимитирующий в зимний период.

При этом работа проводилась с использованием современных измерительных средств:

- многопараметрическим измерителем течений MIDAS ECM (Valeport ltd, Великобритания);
- профилометр Rio Grande (Teledyne RD Instrument, США) [6], так же параллельно гидрометрической вертушкой ГР-21М.

Как MIDAS ECM, так и профилометр Rio Grande являются измерителями электромагнитного типа. Они построены на основе использования эффекта Фарадея для измерения скорости воды. Так как проводник (вода) движется через электромагнитное поле (генерируемое датчиком), он генерирует напряжение, которое измеряется с помощью электродного датчика. Величина создаваемого напряжения пропорциональна значению скорости потока воды.

Отличие этих приборов в том, что MIDAS ECM является точным измерителем, Rio Grande ADCP – позволяет получить изменения величин скорости по всей глубине.

Rio Grande ADCP (профилометр акустический доплеровский) предназначен для построения профиля донной поверхности и измерений в реальном масштабе времени гидрологических характеристик водных объектов при инженерных и научных исследованиях.

Использование профилометра Rio Grande ADCP позволяет выполнять измерения расходов воды в широком диапазоне глубин и при различных скоростях течениях, при

этом обеспечивается высокая точность при измерениях скорости течений и расхода воды. Это дает возможность использовать устройство как в меженьный период (с минимальным расходом воды), так и в период половодья (паводка) (сезон высокого уровня воды и сильного течения) для того же объекта.

Акустический доплеровский профилограф скорости течения (ADCP) Workhorse Rio Grande - является высокоточной системой профилирования течения с возможностью быстрой выборки, и предназначен для работы с движущегося судна. Rio Grande является эффективным инструментом для быстрого измерения расхода воды.

Измеритель скорости течения MIDAS ECM является универсальным измерителем параметров течения, разработанным для длительной работы в виде буйковой станции. Архитектура электроники Valport позволяет подключать множество дополнительных датчиков, а также использовать различные варианты коммуникаций, что делает его одним из немногих мультипараметрических измерителей скорости течения, позволяя работать измерителю как в режиме реального времени с помощью очень длинного кабеля (до нескольких тысяч метров), так и при автономных развертываниях. Диапазон скоростей потока для данного измерителя находится в пределах от 0,001 м/с до 5 м/с. ECM может оснащаться множеством датчиков: мутности, температуры, давления, скорости звука в воде.

Традиционная - гидрометрической вертушкой ГР-21М, позволяет проводить измеряющей скорости течений в интервале 0,05 – 5 м/с.

Так как на рассматриваемом Чусовском водозаборе наиболее сложные условия для устойчивого функционирования в зимний период, соответственно наибольший интерес представляют измерения скоростей течений так же в этот период. Наличие ледового режима накладывает особые условия на измерения скоростей течений, в первую очередь профилометром MIDAS ECM.

Гидродинамический режим в рассматриваемой области определяется сложной комбинацией гидрологических режимов рек Чусовой и Сылвы, уровня вод в Камском водохранилище, которые задаются режимом работы Камской гидроэлектростанции. Гидрологический режим рассматриваемой области характеризуются сильной сезонной изменчивостью.

Характеристики промерных створов:

- ЧОС – ширина 2600 м, ср. глубина – 10 м, суммарный расход около 100 куб м/с;
- Чусовая – 2100 м, ср. глубина – 6, расход около 45 куб м/с;
- Сылва – 2000 м, ср. глубина - 8, расход около 55 куб м/с.

При традиционной оценке динамических процессов в водохранилищах [5], как правило, оперируют осредненными по сечению потока значениями скоростных характеристик, оцениваемых, исходя из осреднённого по сечению потока, уравнения неразрывности:

$$V_x \sim Q/F_x, (1)$$

где Q – характерный расход воды на данном участке;

F_x – площадь поперечного сечения.

Данная величина, как правило, принимается как характерная динамическая характеристика в последующем анализе водного объекта.

Принимая при этом, что фактически значения могут изменяться, исходя из конкретных морфометрических особенностей, точек измерений скорости. Однако их порядок должен быть близок к оценкам по соотношению (1) [5]. Таким образом, средняя скорость в районе ЧОС должна составлять около 0,004 м/с, максимальная – около 0,006 м/с. С учетом того, что измерения проводились в зимний период, когда величина живого сечения существенно меньше (2000 м), величины скоростей могут должны составлять 0,006-0,011 м/с.

Однако результаты натурных измерений дают величины скоростей значительно отличающиеся от балансовых оценок. (рисунок 1)

Измерения, выполненные измерителем MIDAS ECM, близки к результатам измерений выполненных гидрометрической вертушкой ГР-21М (рис. 2).

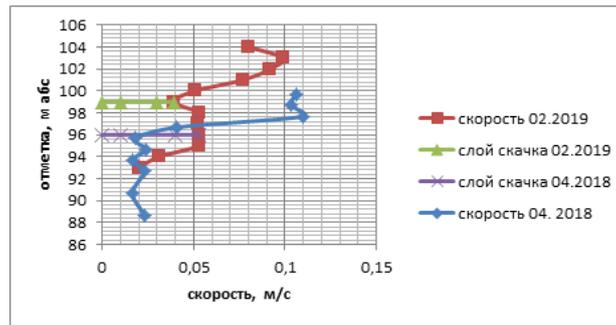


Рис. 1. Изменение скоростей потока по глубине в районе Чусовского водозабора

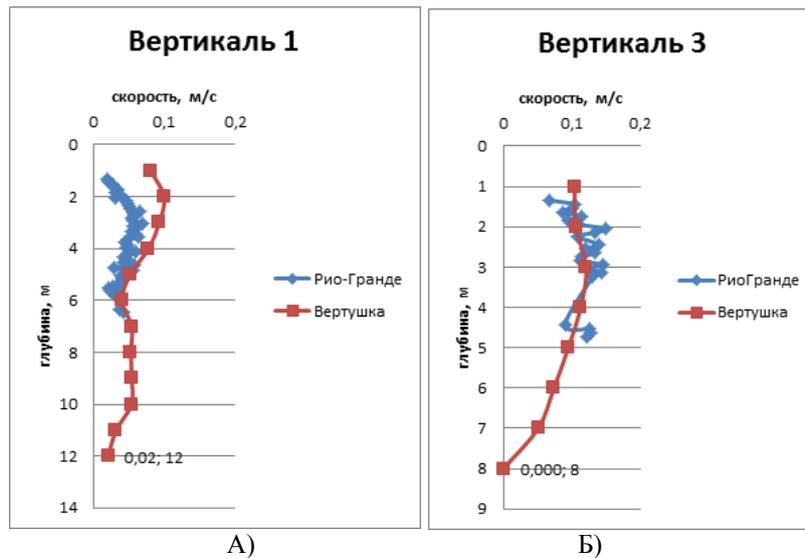


Рис. 2. Сопоставление изменения скоростей потока, измеренных Рио-Гранде и ГР-21М

При этом следует подчеркнуть, что структура полей течений в районе водозабора имеет неоднородный характер не только по глубине потока, но и по акватории. Максимальные скорости (до 0,1 м/с) наблюдаются в русловой части, в русловой части и в правобережной части течение имеет северное и северо-западное направление, в левобережной части – юго-восточное направление.

«Генератором» данных повышенных скоростей течений является существенное различие минерализации, а соответственно плотности воды рек Сылва и Чусовая. Повышенные скорости течений до 0,1-0,2 м/сек наблюдаются в озерах и водохранилищах со значительной плотностной неоднородностью водных масс [8].

Как уже отмечалось в зимний период более плотные воды р. Сылвы подтекают под менее плотные воды р. Чусовой. При этом данная вертикальная стратификация наблюдается не только ниже слияния данных водотоков, но и в 15-20 км участках данных водотоков выше их слияния, т.е. воды р. Сылвы в придонной области распределяются вверх по течению р. Чусовой, а воды р. Чусовой в приповерхностном слое распространяются вверх по р. Сылве. Данные особенности слияния рассматриваемых водотоков обсуждались в [3]. Так же на данном участке Камского водохранилища в зимний период формируются крупномасштабные вихревые структуры, энергия которых поддерживается за счет разной плотности воды сливающихся рек Сылвы и Чусовой.

Для детального исследования данного принципиально нового явления планируются исследования как путем проведения детальных натуральных измерений, а также проведения вычислительных экспериментов на основе гидродинамической модели в 3D постановке в не гидростатическом приближении.

Основные выводы

Применение современных средств гидрометрических измерений позволило, на основе натуральных измерений, выявить сложную структуру течений в районе слияния рек Сылва и Чусовая и расположения основного водозабора г. Перми - Чусовских очистных сооружений. Полученные результаты имеют принципиальное значение для оценки адекватности, корректности гидродинамических моделей рассматриваемого участка Камского водохранилища. В тоже время сами гидродинамические модели являются основным инструментом отработки наиболее оптимальных схем, повышения устойчивости функционирования основного питьевого водозабора г. Перми, в части снижения жесткости забираемой воды.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лепихин А.П., Немковский Б.Б., Онянов В.А., Капитанова Е.Н. Селективный отбор воды // Водоснабжение и санитарная техника. – 1988. – № 3. – С. 27-28.
2. Лепихин А.П., Любимова Т.П., Коновалов В.В., Паршакова Я.Н., Возняк А.А., Шумилова Н.С. Использование стратификационных эффектов для улучшения качества воды, забираемой из поверхностных водных объектов на питьевые нужды // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – 2011. – № 5. – С. 89-104.
3. Lyubimova T., Lepikhin A., Kononov V., Parshakova Ya., Tiunov A. Formation of the density currents in the zone of confluence of two rivers // Journal of Hydrology. – 2014. – V. 508. – P. 328-342.
4. Лепихин А.П., Любимова Т.П., Возняк А.А., Паршакова Я.Н., Богомолов А.В., Ляхин Ю.С. Особенности регулирования качества забираемой воды при ее селективном заборе из водохранилищ // Водное хозяйство России: Проблемы, технологии, управление. – 2017. – № 3. – С. 56-68.
5. Руководство по эксплуатации электромагнитного многопараметрическим измерителем течений MIDAS ECM. – Режим доступа: URL: <https://www.valeport.co.uk/Portals/0/docs/Manuals/Current%20Meters/Midas%20ECM/Hardware/0808819c.pdf>
6. WorkHorse Rio Grande. Акустический доплеровский профилограф: Технич. р-во. Teledyne RD Instruments (TRDI). – Режим доступа: URL: http://www.teledynemarine.com/Documents/Brand%20Support/RD%20INSTRUMENTS/Technical%20Resources/Manuals%20and%20Guides/Workhorse/Rio%20Grande%20ADCP%20Guide_Sep13.pdf
7. Матарзин Ю.М. Гидрология водохранилищ. – Пермь: Изд-во ПГУ, 2003. – 296 с.
8. Самолюбов Б.И. Плотностные течения и диффузия примесей. – М.: URSS, 2007. – 350с.: ил., табл.

УДК 550.423

DOI: 10.7242/echo.2019.2.3

ЛИТОТОКСИЧНОСТЬ КАЛИЙНЫХ РУД ВЕРХНЕКАМСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Е.С. ХОХРЯКОВА

Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация: Проведена оценка распределения микроэлементов в калийных рудах Белопашинского участка Верхнекамского месторождения солей. Рассмотрены закономерности содержания микроэлементов в зависимости от глубины залегания и литологии пород (сильвинит, карналлит, галопелит). Установлено, что преобладающими элементами калийных пород являются Ti, Mn, Sr, V и Ba при подчиненном количестве V, Cr, Cu, Co, Ni, Zr, Ga. Проведено сопоставление микроэлементного состава руд и отходов калийного производства.

Ключевые слова: Верхнекамское месторождение, калийные руды, микроэлементы, литотоксичность.

Введение

С момента открытия Верхнекамского месторождения солей (ВКМС) проводится изучение состава попутных минералов и элементов-примесей добываемых калийных руд. Однако, если на начальных этапах эти геохимические исследования были направлены на оценку возможности попутного извлечения полезных компонентов, то с накоплением огромного количества отходов и формированием в них техногенно-минеральных образований встал вопрос об экологической значимости данных микрокомпонентов (элементов-примесей), т.е. природной литотоксичности калийных руд. Породообразующие минералы, слагающие соляные породы,