

УДК53.087: 627.809

С. К. Давлатшоев, М. М. Сафаров

## КОНДУКТОМЕТРИЧЕСКИЙ СПОСОБ И АППАРАТУРА ИЗМЕРЕНИЯ УРОВНЯ МИНЕРАЛИЗАЦИИ В ПЬЕЗОМЕТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

*Ключевые слова:* кондуктометр, метрологические характеристики, плотина, минерализация, инженерный мониторинг, гидрогеохимический режим.

*В данной работе предложен кондуктометр оригинальной конструкции, оценены его метрологические характеристики. Обобщены результаты измерения разработанным экспресс - кондуктометром минерализации в пьезометрических сетях основания плотины Рогунской ГЭС. С помощью предложенного кондуктометра выявлена зависимость изменения уровня минерализации от уровня воды в реке Вахш с течением времени.*

*Key words:* conductivity meter, metrological characteristics, hydroelectric dam, mineralization, engineering monitoring, hydrogeochemical regime.

*In this work, a conductivity meter of the original design is proposed, its metrological characteristics are estimated. The results of the measurement are summarized by the developed express - conductivity meter of mineralization in the piezometric networks of the base of the dam of the Rogun hydroelectric dam. With the help of the proposed conductometer, the dependence of the change in the mineralization level on the water level in the Vakhsh River over time has been revealed.*

### Введение

В практике мирового гидротехнического строительства имеются случаи возведения сооружений, в основание которых залегают гипсы или гипсоносные отложения. В ряду сооружений, характеризующихся наличием в основании быстрорастворимых пород, Рогунский гидроузел занимает особое беспрецедентное положение [1,2]. Существенным осложнением здесь является наличие в основании плотины круто падающего пласта каменной соли, находящегося в зоне активного движения фильтрационного потока. Поэтому вопрос о возможности, технической надежности и экономической целесообразности строительства Рогунского гидроузла в таких сложных условиях является одним из главных, ключевых вопросов проекта [3,4].

Исследования уровня минерализации на лежачем и висячем боках солевого пласта могут использоваться при решении различных инженерно-гидрогеологических, гидрохимических и геоэкологических задач. Объектом исследования в основном являются естественные распределения солевого облака, образующиеся в результате фильтрации воды из водохранилища. Задачи этих исследований заключаются в следующем:

- анализ влияния колебаний уровня реки Вахш на изменение уровня минерализации подземных вод в пьезометрических скважинах (вертикальные скважины в основании плотины обсаженные стальными перфорированными трубами, куда поступает фильтрующиеся подземные воды),
- изучение влияния техногенных воздействий на изменение общей минерализаций подземных вод и изучение сульфидионных явлений,
- изучения гидрохимической обстановки подземных вод на левобережном участке Ионахского разлома до перекрытия русло реки Вахш (в естественных условиях),
- изучения изменения степени минерализации подземных вод по площади и глубине.

Изучая структуру и характеристику распределения общей минерализации подземных вод по глубине и по площади массива, можно получить определенные сведения об интенсивности растворения оголовка соли. Одним из подходов, позволяющих определить уровень общей минерализации воды, является использование кондуктометрического метода.

### Основы кондуктометрического метода

Кондуктометрия является надежным и относительно дешевым электрохимическим средством измерения с небольшим энергопотреблением, которая позволяет применять ее для контроля концентрации электролитов и водно-солевых растворов по величине их удельной электропроводности.

Электрическая проводимость раствора зависит в основном от уровня концентрации исследуемого раствора и его температуры. Основная область применения кондуктометров является оценка свойств и характеристик растворов, их возможное применение для хозяйственного использования [5,6].

Методы кондуктометрии базируются на постоянном и переменном токе. Кондуктометры на переменном токе могут быть низкочастотными (частота тока  $<10^5$  Гц) или высокочастотными ( $>10^5$  Гц). Также данные устройства по принципу работы используют контактную и бесконтактную кондуктометрию в зависимости от наличия или отсутствия контакта между электролитом и входными цепями измерительного прибора. Чаще всего применяются контактные низкочастотные и бесконтактные высокочастотные методы.

В контактных методах измерения осуществляется за счет применения контактных ячеек. Очень часто применяют электроды из платины, титана, нержавеющей стали и др.

Контактные методы кондуктометрии имеют высокую точность. Они используются при химическом анализе, а также для изучения динамики реакций, определения констант электролитов, растворимости осадков, коэффициентов диффузии и т.д.

Бесконтактные методы уступают контактному по точности, но лучше их по чувствительности. Необходимо отметить, что из-за отсутствия взаимодействия материала электрода с исследуемой средой эти методы дают возможность осуществлять измерения при высоких и низких температурах, в нестабильных средах, в замкнутых объемах.

Кондуктометрические ячейки также разделяют на проточные и погружные. Проточная ячейка устанавливается непосредственно к точке отбора или проба заливается в нее. Погружная ячейка опускается в сосуд с анализируемой жидкостью, либо крепится в трубопровод с анализируемой средой. Полное заполнение ячейки является обязательным требованием правильного измерения, в ней не должно быть пузырьков воздуха, поэтому поток жидкости через ячейку или ее наполнение должны осуществляться снизу вверх. В процессе эксплуатации на поверхности электродов и корпуса ячейки могут появиться отложения, искажающие результаты измерений. Ячейки необходимо периодически чистить соответствующими растворителями [7].

Проводник (раствор с ионной проводимостью), по которому течет ток, имеет определенное сопротивление  $R$  [8].

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S}$$

где  $\rho$  – удельное сопротивление, зависящее от природы раствора и его температуры;  $l$  – длина проводника (в случае раствора в её роли выступает расстояние между опущенными в него электродами);  $S$  – площадь поперечного сечения проводника (для растворов в его роли выступает площадь поверхности электродов).

В качестве количественной меры способности раствора электролита проводить электрический ток применяют удельную электрическую проводимость  $k$  ( $\text{Ом}^{-1}\text{см}^{-1}$ ) – величину, обратную удельному сопротивлению (величину, обратную сопротивлению столба раствора между электродами площадью  $1 \text{ см}^2$ , находящимися на расстоянии  $1 \text{ см}$ ):

$$k = \frac{1}{\rho} = \frac{l}{S \cdot R}$$

Удельная электропроводность растворов, в системе СИ измеряется в  $\text{См} \cdot \text{м}^{-1}$  или в  $\text{Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$ .

### Отличительные признаки предлагаемого кондуктометра

При рассмотрении и сравнении разработанного кондуктометра с ведущими зарубежными аналогами производителей АВВ, Nash Lange, Endress Hauser, нужно иметь в виду следующее:

- комплекты приборов данных компаний для измерения электропроводности состоят из сенсоров (самих датчиков) и преобразователей (транзмиттеров), которые отображают результаты. Длина соединительного кабеля у этих приборов всегда менее 30 м, поскольку аналоговые сигналы, идущие по этому кабелю, чувствительны к наводкам и помехам;

- погружной зонд разработанного кондуктометра является цифровым сенсором и допускает удаление от регистратора на расстояние более 100 м по ин-

терфейсу цифровой токовой петли. Питание зонда и информация от него использует двухпарный телефонный провод ТП 724, который к тому же служит и силовым тросом;

- питание приборов вышеуказанных компаний обычно осуществляется напряжением 220 или 36 В, при потребляемой мощности более 10 Вт;

- разработанный кондуктометр питается напряжением 12 В при потребляемой мощности менее 1 Вт.

### Назначение и принцип работы

Кондуктометр – концентратомер разработанный специалистами ООО "Гидроспецпроект" и ООО "NELT" (рис. 1) предназначен для определения общей минерализации и температуры воды в пьезометрах. Концентрация соли определяется по электропроводности раствора измеренной индукционным методом.

Технические характеристики кондуктометра – концентратомера приведены в таблице 1.

Кондуктометр применяется для мониторинга изменения минерализации грунтовых вод. Кондуктометр состоит из двух частей: погружного зонда и регистратора, служащего для отображения и сохранения результатов измерений. Погружной зонд связан с регистратором кабелем и может быть удален от регистратора на расстояние 100 м.



Рис. 1 - Кондуктометр – концентратомер

Предусмотрена возможность калибровки прибора на измерение концентрации других не агрессивных растворов электролитов.

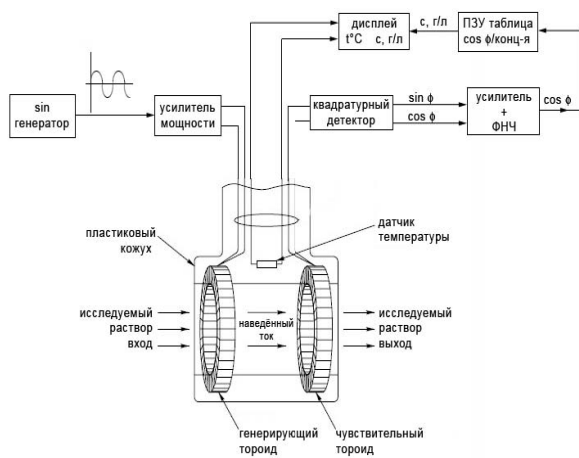
Кондуктометр использует тороидальный сенсор, который не имеет электродов (рис. 2). Измерение электропроводности происходит следующим образом. В возбуждающем тороиде генерируется переменный синусоидальный магнитный поток с помощью высокостабильного генератора синуса и усилителя мощности. Если внутрь тороида попадает замкнутая проводящая среда (раствор NaCl), то в этой среде индуцируется (наводится) переменный ток. Этот ток охватывает оба тороида – и возбуждающий и чувствительный. Чувствительный тороид работает в режиме трансформатора тока.

Его выход пропорционален току, текущему в жидкостном витке. В общем случае имеется общий фазовый сдвиг  $\phi$  между возбужденным и принятым сигналом. Квадратурный детектор выделяет сигнал

пропорциональный проводимости  $\sin\phi$  и  $\cos\phi$ , и выводит их на экран регистратора.

**Таблица 1 - Технические характеристики кондуктометра**

Диапазон измеряемых концентраций	от 2 до 300 г/л
Точность измерения концентрации NaCl	$\pm 2$ г/л
Температура измеряемого раствора	от 10 до 30 <sup>0</sup> C
Точность измерения температуры	$\pm 0,5^0$ C
Интерфейс погружного зонда	Токовая петля 0 – 100 мА
Интерфейс регистратора	RS - 232
Время измерения	2 сек
Потребляемая мощность	1 Вт
Средний срок службы погружного зонда	5 лет
Средний срок службы регистратора	10 лет
Длина информационного кабеля	До 100 м
Масса погружного зонда	850 г
Габариты погружного зонда	301 x 34 мм
Габариты регистратора	140 x 100 x 30 мм
Питание прибора	



**Рис. 2 - Принципиальная схема работы кондуктометр**

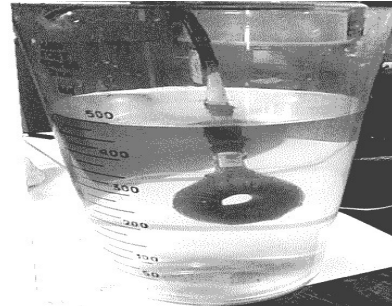
Его выход пропорционален току, текущему в жидкостном витке. В общем случае имеется общий фазовый сдвиг  $\phi$  между возбужденным и принятым сигналом. Квадратурный детектор выделяет сигнал пропорциональный проводимости  $\sin\phi$  и  $\cos\phi$ , и выводит их на экран регистратора.

Для получения концентрации в граммах на литр, сигнал  $\cos\phi$ , вместе с текущей температурой подставляется в таблицу концентрации, размещенной в ПЗУ (постоянном запоминающем устройстве) регистратора. Истинное значение концентрации вместе с температурой отображаются на дисплее регистратора.

Прибор может быть калиброван на изменение концентрации любых не агрессивных растворов

электролитов. Далее описывается методика калибровки прибора по водным растворам хлорида натрия (NaCl).

Требования к измерительной ячейке минимальные (рис. 3 и 4). Она может быть из любого материала, главное условие — зазор между измерительным кольцом и стенками сосуда должен быть не менее 15 мм, и в отверстии кольца не должно находиться посторонних предметов, грязи или пузырьков воздуха, присутствие которых исказит результаты измерений.



**Рис. 3 - Измерительная ячейка с кольцом кондуктометра**



**Рис. 4 - Измерительная ячейка на водяной бане со льдом**

Для нахождения зависимости показаний прибора от концентрации раствора NaCl, было приготовлено восемь стандартных растворов хлорид натрия с концентрацией: 10, 30, 60, 120, 180, 240, 300 и 340 г/л [9,10]. Растворы готовились с использованием пищевой поваренной соли марки «Экстра» с содержанием NaCl 99,7%. Для растворения применялась водопроводная вода общей жесткостью 2 мг-экв/л.

Измерительная ячейка показана на рисунке 3 и 4. Стекланный стакан, наполненный раствором соли, в который погружен индуктивный датчик кондуктометра.

При постоянной комнатной температуре поочередно измеряли удельную проводимость стандартных растворов, при этом была выявлена зависимость показаний прибора от концентрации. Кривая зависимости имеет экстремум в районе концентрации 300 г/л. Это значит что выше концентрации 300 г/л невозможно точное определение солёности данным методом.

Значения электропроводности и отражающего её значения  $\cos\phi$  сильно зависят от изменений температуры. Для определения этой зависимости понадо-

билось снять несколько концентрационных кривых при различных температурах.

Измерения проводились в динамике, медленно нагревая или охлаждая исходный раствор [11]. Для нахождения температурной зависимости для температур выше комнатной, ячейка с раствором нагревалась на водяной бане выше 30°C, изымалась из водяной бани и по мере остывания до комнатной температуры снимались показания прибора с интервалом 0,5°C.

Для нахождения температурной зависимости для температур ниже комнатной, ячейка с раствором охлаждалась льдом на водяной бане (рисунок 4) ниже +10 °С, изымалась из бани и по мере нагревания до комнатной температуры снимались показания прибора с интервалом 0,5°C.

Для получения достоверных результатов, изменение температуры должно происходить очень медленно, со скоростью не более 10 мин/град, чтобы прибор целиком успевал прогреться или охладиться.

Исходя из результатов измерений сделано следующее заключение:

1. температурные кривые подобны и отличаются только углом наклона к осям координат;
2. угол наклона изменяется линейно в температурном диапазоне 8-21°C и нелинейно при температурах свыше 21°C;
3. зная точную зависимость угла наклона кривой от температуры можно выстроить все промежуточные кривые смещением ранее измеренных точек, без проведения дополнительных измерений.

Для нахождения температурной зависимости угла наклона концентрационной кривой было проведено исследование  $\cos\phi$  раствора NaCl концентрации 180 г/л в диапазоне температур 20 - 30 °С.

По полученным результатам построена калибровочная таблица. Основываясь на экспериментальных данных для температуры 21°C и найденной величине смещения, были просчитаны основные 7 точек для промежуточных кривых концентраций с шагом 0,5°C. Для каждой кривой было найдено математическое описание с целью нахождения промежуточных значений. Кривые описываются полиномиальной функцией второго порядка следующего вида[12-14]:

$$\cos \phi = -a \cdot c^2 + b \cdot c + d$$

где  $c$  — концентрация раствора NaCl;  $a, b, d$  — коэффициенты.

Для каждого уравнения были рассчитаны все возможные значения  $\cos\phi$  в диапазоне концентраций 2-320 г/л и составлена таблица концентраций, соответствующих значениям  $\cos \phi$  в диапазоне температур 10-30°C с шагом 0,5°C. Данная таблица была помещена в ПЗУ кондуктометра.

Проверка работоспособности кондуктометра в полевых условиях проводится следующим образом:

- соединяется погружной зонд с регистратором согласно схемы;
- полностью погружается зонд в исследуемый раствор и нажимается кнопка «Измерить» на регистраторе. На дисплее высветится температура измерительного блока, и концентрация поваренной соли

в растворе в граммах на литр. Для получения достоверных данных о концентрации и температуре раствора погружной зонд должен находиться в исследуемом растворе несколько минут до полного выравнивания температур раствора и датчика. Полученные данные надо записать отдельно, так как прибор не имеет функции сохранения показаний;

- нажатие кнопки «Экраны» выводит на дисплей данные непосредственно с измерительного блока в условных единицах проводимости без преобразования в единицы концентрации. Эти данные могут потребоваться для уточнения калибровки прибора или его перекалибровки на измерение концентрации других растворов электролитов;

- отверстие индуктивного сенсора не должно быть забито грязью или содержать пузырьки воздуха. Наличие крупных механических частиц в отверстии сенсора приводит к искажению результатов измерений;

- по окончании работы сполоснуть погружной зонд пресной водой во избежание кристаллизации соли.

Работоспособности кондуктометра в полевых условиях проверяется следующим образом:

#### 1. Проверка нулевых значений:

- промыть погружной зонд пресной водой и высушить;
- соединить зонд с регистратором;
- нажать кнопку «Измерить»;
- нажать кнопку «Экраны». На дисплее должны быть следующие

вход	sin	cos
562	0	0

- нажать кнопку «Экраны». Дисплей должен показывать текущую температуру, в поле, отображающем концентрацию в г/л, должны быть нули.

#### 2. Проверка значений эталонными резисторами:

- продеть в кольцо индуктивного сенсора медный провод концы которого замкнуть на эталонное сопротивление 30 Ом;
- нажать кнопку «Измерить» на регистраторе;
- нажать кнопку «Экраны». На дисплее должны быть следующие

вход	sin	cos
562 74	136	

- продеть в кольцо индуктивного сенсора медный провод концы которого замкнуть на эталонное сопротивление 15 Ом;

- нажать кнопку «Измерить» на регистраторе;
- нажать кнопку «Экраны». На дисплее должны быть следующие

вход	sin	cos
562	148	272

- допустимы отклонения от указанных значений  $\pm 2\%$  максимум.

### Методика проведение поверки

Определение основной приведённой погрешности показаний кондуктометра по каналу измерения

концентрации - г/л. Основную приведённую погрешность измерений определяют методом непосредственного сличения результатов измерения концентрации одних и тех же контрольных растворов поверяемым и эталонным кондуктометром [10].

Основную приведённую погрешность определяют не менее, чем в трёх точках диапазона измерения концентрации, расположенных на начальном (10 – 30)%, среднем (40 – 60)%, и конечном (70 – 90)% участках диапазона. В каждой поверяемой точке проводят не менее трёх измерений величины УЭП. При каждом измерении добиваются установившегося значения температуры раствора, которая контролируется термометром, а также по выходному сигналу температурного канала кондуктометра. Значение основной приведённой погрешности « $\gamma$ » в процентах определяют по формуле:

$$\gamma_i = ((c_0 - c_i) / c_N) \times 100,$$

где  $c_i$  – значение концентрации, определённое поверяемым кондуктометром, г/л;  $c_0$  – значение, измеренное образцовым кондуктометром, г/л;  $c_N$  – верхний предел диапазона измерения УЭП поверяемого кондуктометра (указывается в паспорте на прибор), г/л.

Наибольшее из полученных значений погрешности не должно превышать  $\pm 2\%$ .

Основную приведённую погрешность показаний определяют не менее, чем при трёх значениях температуры, расположенных на начальном (10 – 30)%, среднем (40 – 60)%, и конечном (70 – 90)% участках диапазона измерения температуры.

Бачок с датчиком поверяемого кондуктометра заполняют дистиллированной водой и помещают в термостат. В термостате поочерёдно устанавливают три выбранных значения температуры. Каждый раз фиксируют температуру воды по термометру и установившееся значение напряжения на выходе канала измерения температуры.

Основную приведённую погрешность измерения температуры в процентах вычисляют по формуле:

$$\gamma_{Ti} = (T_i^K - T_i^T / T_N) \times 100\%,$$

где  $T_i^K$  – значение температуры, определённое на выходе температурного канала поверяемого кондуктометра, °С;  $T_i^T$  – значение температуры, измеренное термометром, °С;  $T_N$  – верхний предел диапазона измерения температуры, °С.

Наибольшее из полученных значений погрешности не должно превышать  $\pm 1,5\%$ .

#### **Пример использования метода кондуктометрического измерения по оценке гидрогеохимической обстановки в основании плотины на соленосных породах**

При составлении прогноза фильтрационного режима в основании сооружений особое внимание должно уделяться исследованию взаимодействия фильтрационных вод из водохранилища с подземными водами и с соленосными породами основания.

Взаимодействия фильтрационного потока с соленосными породами оснований характеризуется

растворением солевой составляющей породы, а затем – выщелачиванием (вымыв растворенных составляющих) или засолением (переотложение продуктов растворения) [7,14,16].

По степени растворимости в воде простые соли, наиболее часто встречающиеся в грунтах, подразделяются на легко-, средне- и труднорастворимые. К легкорастворимым солям относятся: NaCl, MgCl, CaCl<sub>2</sub>, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, MgSO<sub>4</sub>, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>. Растворимость их в воде составляет при 20<sup>0</sup>С в пределах 160-430 г/л. Средне - растворимыми являются CaSO<sub>4</sub> 2H<sub>2</sub>O и ангидрит CaSO<sub>4</sub>; труднорастворимыми – карбонаты кальция CaCO<sub>3</sub> и магния MgCO<sub>3</sub>. Процесс растворения зависит от свойств растворов: минерализации, химического состава и концентрации иона водорода (рН). Так, в дистиллированной воде при t=40<sup>0</sup>С растворимость гипса [17] составляет 2,093 г/л, а в высококонцентрированных растворах NaCl(100 г/л) и MgCl<sub>2</sub> (200г/л) растворимость гипса увеличивается соответственно до 6,5 и 10 г/л. Гипс хорошо растворяется в щелочах и соляной кислоте. С ростом концентрации раствора щелочи от 0,1 до 1,0 н растворимость гипса резко возрастает, соответственно от 2,0 до 66 г/л. Присутствие же в воде незначительного количества CaCl<sub>2</sub> значительно снижает, а растворенного сернокислого магния (MgSO<sub>4</sub>) может прекратить растворение гипса полностью. Таким образом, в зависимости от состава растворителя и минерализации скорость растворения гипса может изменяться в широких пределах, что нужно учитывать при составлении прогнозов интенсивности выщелачивания и выборе мероприятий по ее снижению.

Высокая растворимость хлорид натрия (NaCl = 360 г/л) может быть значительно понижена присутствием солей CaCl<sub>2</sub> и Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

Содержание в воде таких ионов, как HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>-</sup>, которые могут давать хорошо растворимые соединения с ионами кальция и магния, повышает растворение кальцита, магнезита, доломита.

Растворение соленосных пород может интенсифицироваться процессом миграции растворенных солей под действием фильтрации – выщелачиванием. Процесс выщелачивания сопровождается изменением водо - или рассолопроницаемости соленосной породы, которая зависит от таких факторов как:

- исходный минералогический состав и структурно – текстурное сложение пород основания,
- физико - химическое состояние подземных вод (минералогический состав, плотность, вязкость, температура, валентность катионов, концентрация водородных ионов, коэффициент диффузии солей в растворах пористо – трещиноватой среды),
- скорость фильтрации,
- напряженное состояние массива.

Наиболее сложно прогнозировать влияние на выщелачивание физико-химического состояния подземных вод [18]. Это обусловлено не только многофакторной зависимостью его, но и недостаточной изученностью вопроса о формах нахождения химических элементов в растворах, т. е. химически связанными или физически свободными в виде отдельных ионов. В породе при взаимодействии с во-

дой одновременно может происходить растворение, окисление, гидратация, замещение и гидролиз.

Высокоминерализованные подземные воды, обладая большой вязкостью, имеют разную фильтрационную способность. Так, проницаемость пород для раствора  $\text{CaCl}_2$  больше, чем для  $\text{NaCl}$  при одинаковой их концентрации. Оба раствора обладают большей фильтрационной способностью, чем дистиллированная вода. Это обусловлено тем, что хлоридные растворы оказывают разрушающее действие на структуру связанной воды в породе, вызывая ее переход в свободный объем и увеличение тем самым эффективной пористости породы.

В глинистых породах при минимальных градиентах фильтрационного напора и неполном насыщении области фильтрации движение рассолов возможно под действием капиллярного осмоса, возникающего в результате градиента концентрации растворенных солей и термоосмоса под действием разности температур. Основной особенностью его является то, что скорость движения рассолов под действием капиллярного осмоса может во много раз превосходить скорость фильтрации [19].

Основным параметром солепереноса является коэффициент конвективной или фильтрационной диффузии, так как скорость выщелачивания зависит от скорости фильтрации. Лабораторными исследованиями установлено, что при ламинарной фильтрации скорость перемещения растворенного вещества примерно в 40 раз меньше скорости фильтрации, а при турбулентной фильтрации скорость перемещения растворенного вещества получается близкой к скорости фильтрации.

В настоящее время задача определения химического состава подземных вод в зоне солевого пласта Рогунской ГЭС кондуктометрическим методом находится в стадии эксплуатации.

В 2011 году, в ноябре и декабре месяцах проведены два цикла измерений. Измерения минерализации проведены в 16 пьезометрических скважинах через каждый 1 метр глубины. Всего за два месяца произведено 839 определений. Таблицы изменения уровня минерализации в пьезометре №27 приведена ниже (табл. 2).

По результатам анализа выполненных работ было выявлено взаимосвязь изменения границ минерализованных вод по площади и по вертикали от колебания уровня воды в реке Вахш. Исследования показали, что при понижении уровня воды в реке Вахш на 0,26 – 0.40 метров, минерализация подземных вод в пьезометрах увеличивается в пределах от 16 до 130 г/л.

Это свидетельствует о том, что при повышении уровня реки Вахш, одновременно происходит отжатие подземных минерализованных вод и конвективно – диффузионное снижение концентрации.

В результате проведения двух циклов геофизических исследований (ноябрь и декабрь 2017 г.) на участке солевой завесы Рогунской ГЭС получены следующие представления о характере пространственного распределения и временных вариациях уровня минерализации подземных вод в зоне защиты солевого пласта.

Таблица 2 - Таблица замера уровня минерализации воды в пьезометрической скважине П-27

№ п/п	дата замера	Глубина замера (м)	Темп. вод. °С	Минерализация г/л.
	№СКВ			
	Статический уровень (м)			
	1	2	3	4
1	21.11.2011	17	14,5	4
2	П-27	18	15	4
3	16.04	19	15	5
4		20	15	6
5		21	15	7
6		22	15	7
7		23	15	9
8		24	15	11
9		25	15	11
10		26	15	12
11		27	15	12
12		28	15	13
13		29	15	13
14		30	15	13
15		31	15	14
16		32	15	14
17		33	15	54
18		34	15	188
19		35	15	204
20		36	15	136
21		36,3	15	105
	1	2	3	4
1	27.12.2011	18,65	12	14
2	П-27	19	13	15
3	17.65	20	13,5	14
4		21	13,5	15
5		22	14	17
6		23	14	17
7		24	14	17
8		25	14,5	17
9		26	14,5	17
10		27	14,5	17
11		28	14,5	17
12		29	14,5	17
13		30	14,5	18
14		31	14,5	18
15		32	14,5	116
16		33	14,5	244
17		34	14,5	312
18		35	14,5	312
19		36	14,5	312
20		36,3	14,5	116

Выявлена зональность в уровне общей минерализации подземных вод окружающих оголовок пласта соли. Максимальные значения общей минерализации наблюдаются в непосредственной близости (ближняя зона) к оголовку соли в зоне цементации.

Временные колебания уровня минерализации имеют сезонный характер. Максимальные значения общей минерализации наблюдаются в зимне - весенний период, а минимальные - в летне - осенний.



В ближней зоне временные изменения относительно плавные с максимумом в апреле и минимумом в октябре. Диапазоны колебаний уровня общей минерализации подземных вод в ближайшей зоне 200-350 г/л, а в средней 50-200 г/л. В дальней зоне наблюдается относительно стабильный во времени низкий уровень минерализации подземных вод.

Характер временных изменений уровня минерализации коррелируется с временными изменениями температурного поля в зоне солевого пласта. В период относительного повышения температуры подземных вод (конец лета-начало зимы) отмечается снижение среднего уровня минерализации подземных вод, а в период снижения температуры (январь-апрель) - повышение минерализации. Наибольшая амплитуда колебаний температуры отмечена в зоне распространения гидрохимической аномалии.

По характеру колебаний уровня минерализации подземных вод состояние основания сооружения в зоне оголовка соли следует отнести серьезно. К факторам, процесса растворения солевого пласта, следует отнести достижение минимальных значений минерализации подземных вод вокруг солевого пласта.

На основании результатов исследования можно сделать следующие выводы:

1. Изготовлен опытный экземпляр кондуктометра, который прошел испытания в пьезометрической сети основания плотины Рогунской ГЭС в течение пяти лет. В течение времени апробации кондуктометр доведен до промышленного варианта.

2. Главными техническими преимуществами предлагаемого кондуктометра является индуктивный принцип работы сенсорного датчика, который защищен от прямого контакта с исследуемой агрессивной средой, а также точность и экспрессность съема информации.

3. Калибровка кондуктометра осуществляется в автоматическом режиме, что позволяет оперативно настраивать прибор на другие типы солевых растворов.

4. Исследование с помощью предложенного кондуктометра гидрогеохимического режима в основании плотины Рогунской ГЭС позволило выявить зависимость изменения уровня минерализации (отжатие минерализованных вод) от изменения уровня воды в реке Вахш с течением времени.

### Литература

1. Максимович Н.Г., Сергеев В.И. Влияние химического инъекционного закрепления на устойчивость гипса в ос-

новании гидротехнических сооружений// Гидротехническое строительство. 1983. № 7. С. 16 – 32.

2. Максимович Г.А. Основы карстоведения. Пермь, 1963. Т.1. 444 с.

3. Недрига Б.П., Осадчий Л.Г., Демьянова Э.А. Защита от размыва соленосных пород основания Рогунской плотины// Тр. ВНИИ ВОДГЕО. 1977. Вып. 61. С. 1 – 4.

4. Недрига В.П., Демьянова Э.А. Осадчий Л.Г. Применение солевого раствора для защиты соленосных пород оснований гидротехнических сооружений// Науч. Исслед. В обл. гидротехн. Сооружений. №., 1979. С. 12 – 14.

5. Харитонов Ю.Я. Аналитическая химия. Кн. 2. – М.: Высшая школа. 2003. – 345 с.

6. Аналитическая химия. В 2ч. Ч.2.Физико-химические методы анализа: Практикум./ В.В. Слепушкин, Б.М. Стифатов, Ю.8. Рублинецкая, Е.Ю. Моценская. - Самара: Самар. гос. тех. ун-т, 2011.-286 с.

7. Алевкин О.А. Основы гидрохимии. Гидрометеиздат. М., 1970, 444 с.

8. Антропов Л.И. Теоретическая электрохимия. М., Высшая школа, 1984, 519 с.

9. Галюс З. Теоретические основы электрохимического анализа. М., Мир, 1974, 552 с.

10. ГОСТ 13685 - 84. Соль поваренная. Методы испытаний. М., Стандвртинформ, 2010, 32 с.

11. Золотов Ю.А., Дорохов Е.Н., Фадеев В.И. и др. Основы аналитической химии. В 2 кн./ Под ред. Золотова Ю.А. - М., ФГУП "Высшая школа", 2002, 494 с.

12. Винберг Э.Б. Алгебра многочленов. М., Просвещение, 1980, 176 с.

13. Курош А.Г. Курс высшей алгебры, 9 - е изд.. М., Главная редакция физико - математической литературы, 1968, 431 с.

14. Мишина А.П., Проскураков И.в. Высшая алгебра, 2 - е изд. М., Физматгиз, 1962, 300 с.

15. Левич В.Г. Физико – химическая гидродинамика. Физматгиз. М. 1959, 700 с.

16. Сергеев Е.М. Теоретические основы инженерной геологии. Физико - химические основы. Москва, Недра, 1985, 288 с.

17. Зверев В.П. Гидрогеохимические исследования систем гипсы - подземные воды. Москва, Наука, 1967, 99 с.

18. Руденко Ф.А. Фиалко А.И. Исследование влияния температуры, напряженного состояния и химического состава горных пород. «Формирование подземных вод как основа гидрогеологических прогнозов». Материалы Всесоюз. Гидрогеол. Конф. М., 1982, Т.1, С. 123 – 126.

19. Воронкевич С.Д., Емельянов С.Н., Сергеев В.И. Исследование фильтрационно - осмотических процессов при создании противифльтрационных экранов (на примере Рогунской ГЭС). "Задачи механики природных процессов". Москва, 1983, С. 47 - 63.

© С. К. Давлатшоев - соискатель каф. теплофизики и теплотехнических систем Таджикского технического университета им. академика М.С. Осими, davlatshoev\_s@mail.ru; М. М. Сафаров - д-р техн. наук, проф., Филиал МГУ им.М.В.Ломоносова в г. Душанбе, mahmad1@list.ru.

© S. K. Davlatshoev - Applicant of the Chair of Thermophysics and Thermal Engineering Systems of the Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi, davlatshoev\_s@mail.ru; M. M. Safarov - Doctor of Technical Sciences, Professor, The Moscow State University named after MV Lomonosov Dushanbe, mahmad1@list.ru.