

## АНАЛИЗ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ОСАДКА НА КОРПУСЕ СКВАЖИННОГО ЭЛЕКТРОНАСОСНОГО АГРЕГАТА

**Брайкова А.М., Саевич К.Ф., Базыльчук Т.А.,  
Якубович М.Ю., Бондарев Д.В., Козорез А.С.**

*Цель.* Определение химического состава образца осадка на корпусе и деталях скважинного электронасосного агрегата, эксплуатировавшегося в течение нескольких лет в условиях Курско-Белгородской аномалии; выявление возможных причин выхода из строя агрегата и разработка рекомендаций по эксплуатации оборудования.

*Методы.* Разработана программа исследования образца осадка, включающая определение массовой доли органических веществ (органической составляющей осадка) весовым методом, массовой доли железа спектрофотокolorиметрическим методом на спектрофотометре СФ-2000, массовой доли марганца титриметрическим методом, содержания цинка, кадмия, свинца и меди методом инверсионной вольтамперометрии на анализаторе вольтамперометрическом АВА-3.

*Результаты.* Установлено содержание органических веществ в осадке (50,1 %), определены массовые доли железа (5,6 %), марганца (6,6 %), свинца (3,4 %), цинка (0,017 %), меди (0,005 %), кадмий не обнаружен. Сформулированы вероятные причины накопления осадка на поверхности скважинного электронасосного агрегата. На основании полученных результатов исследования предложены рекомендации по эксплуатации погружных электронасосных агрегатов, включающие в первую очередь необходимость забора и анализа проб воды из скважины перед монтажом оборудования.

*Область применения исследований.* На основании полученных результатов исследования образца осадка на корпусе и деталях скважинного электронасосного агрегата сформулированы рекомендации по эксплуатации оборудования.

*Ключевые слова:* осадок, скважинный электронасосный агрегат, химический состав, титрование, спектрофотокolorиметрия, инверсионная вольтамперометрия.

(Поступила в редакцию 16 ноября 2023 г.)

### Введение

Министерством по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь утверждены Правила по обеспечению промышленной безопасности при бурении скважин (от 17 мая 2021 г. № 34), регламентирующие требования к бурильному оборудованию, процессам его монтажа, эксплуатации, демонтажа, обслуживания и т.д. Из подготовленных скважин для подъема воды и перемещения жидкости потребителям в различных отраслях и сферах (ЖКХ, промышленности, сельском хозяйстве, строительстве и т.д.) повсеместно используются скважинные электронасосные агрегаты. Одной из основных задач, стоящих перед водным хозяйством Республики Беларусь, является обеспечение надежной подачи воды определенного качества потребителю, что требует бесперебойной и эффективной работы скважинных электронасосных агрегатов [1; 2].

Эффективность работы и долговечность насосных систем зависят от целого ряда влияющих факторов. Ключевое значение имеет состав материалов, используемых для изготовления оборудования. В большинстве случаев изготовители используют стали и сплавы, устойчивые к коррозионно-агрессивным средам. При эксплуатации насосных систем необходимо контролировать температурные режимы работы агрегатов, поскольку высокие температуры могут привести к перегреву, а низкие – к замерзанию и повреждению оборудования. Кроме того, крайне важно учитывать основные показатели качества воды, с которой работают насосные системы, такие как содержание механических примесей различной природы (металлопримеси, песок, глина, водоросли), кислотность, химический состав.

Механические примеси могут приводить к засорению систем механизмов, повышенная кислотность и содержание химически активных веществ – к коррозии материалов насосов

и водоподающего оборудования, высокое содержание солей, обуславливающих жесткость воды, – к образованию осадка труднорастворимых веществ на внутренних поверхностях деталей механизмов.

Отсутствие мониторинга показателей качества воды скважин, а также контроля условий эксплуатации оборудования может привести к снижению производительности, повреждению и преждевременному выходу из строя скважинных насосных агрегатов.

Цель работы – определить химический состав образца осадка на корпусе и деталях скважинного электронасосного агрегата, используя материальную базу учебной лаборатории кафедры физикохимии материалов и производственных технологий учреждения образования «Белорусский государственный экономический университет»; выявить возможные причины выхода из строя агрегата и разработать рекомендации по эксплуатации оборудования.

### Материалы и методы исследования

Объектом исследования выступил образец осадка на корпусе и деталях скважинного электронасосного агрегата, эксплуатировавшегося в течение нескольких лет в условиях Курско-Белгородской аномалии. Образовавшийся осадок по предположению предприятия-изготовителя скважинного электронасосного агрегата послужил причиной преждевременного выхода из строя оборудования. В связи с этим возникла необходимость изучить химический состав осадка и на основании проведенного исследования сформулировать вероятные причины выхода из строя оборудования.

Осадок черного цвета с включениями рыжего цвета достаточно легко поддавался растиранию в ступке, что позволило его гомогенизировать. Внешний вид образца осадка до и после гомогенизации представлен на рисунке 1.



Рисунок 1. – Внешний вид образца осадка, представленного для исследования

С учетом поставленной цели и возможностей материально-технической базы учебной лаборатории была разработана следующая программа исследования образца осадка:

1. Определить массовую долю органических веществ (органической составляющей осадка) весовым методом.
2. Определить массовую долю железа спектрофотокориметрическим методом на спектрофотометре СФ-2000.
3. Определить массовую долю марганца титриметрическим методом.
4. Определить содержание цинка, кадмия, свинца и меди в осадке методом инверсионной вольтамперометрии на анализаторе вольтамперометрическом АВА-3.

**Определение массовой доли органических веществ** в образце осадка весовым методом предполагает предварительное его озоление. При этом руководствовались ГОСТ 27784 «Методы определения зольности торфяных и оторфованных горизонтов почв»<sup>1</sup>, ГОСТ Р 56881-2016 «Биомасса. Определение зольности стандартным методом»<sup>2</sup>, ГОСТ 26929 «Сырье и продукты пищевые. Подготовка проб. Минерализация для определения содержания токсичных элементов»<sup>3</sup>.

Для проведения озоления применяли программируемую двухкамерную печь ПДП-18М, состоящую из камер выпаривания и озоления. В три чистых кварцевых стаканчика взвесили с погрешностью не более 0,001 г навески гомогенизированного образца осадка. Далее стаканчики выдерживали в камере высушивания 30 мин при температуре 105 °С, затем в течение 60 мин при температуре 180 °С. Далее температуру повысили до 250 °С и выдержали еще 30 мин. Затем стаканчики с образцами осадка переместили в камеру озоления и выдержали при температуре 525 °С в течение 45 мин.

Стаканчики с зольным остатком доставали из камеры озоления, помещали в эксикатор, охлаждали и взвешивали с погрешностью не более 0,001 г. Несгоревшие угольные включения обрабатывали 30 %-м раствором перекиси водорода (2–2,5 см<sup>3</sup>), раствором концентрированной азотной кислоты (1–2 см<sup>3</sup>). Стаканчики помещали в камеру выпаривания и выдерживали при температуре 180 °С до полного высыхания содержимого. Далее их помещали в камеру озоления и выдержали при температуре 525 °С в течение 30 мин. Данный цикл «обработка окислителями – высушивание – озоление – охлаждение – взвешивание» проводили до тех пор, пока разность двух последовательных взвешиваний составила менее 0,005 г. Следует отметить, что озоление образца осадка проводили в течение 6 ранее описанных циклов. Внешний вид полученного осадка после пройденных циклов озоления представлен на рисунке 2.



Рисунок 2. – Внешний вид образца осадка после озоления до постоянной массы

Массовую долю органической составляющей осадка в процентах рассчитывали по формуле:

$$\omega = m_2 / m_1 \cdot 100 \%,$$

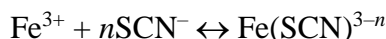
где  $m_1$  и  $m_2$  – массы навески гомогенизированного образца осадка до и после высушивания и озоления.

<sup>1</sup> Методы определения зольности торфяных и оторфованных горизонтов почв: ГОСТ 27784. – Введ. 25.07.88. – М.: ГК СССР по стандартам, 1988. – 6 с.

<sup>2</sup> Биомасса. Определение зольности стандартным методом: ГОСТ Р 56881-2016. – Введ. 09.03.16. – М.: Стандартинформ, 2019. – 8 с.

<sup>3</sup> Сырье и продукты пищевые. Подготовка проб. Минерализация для определения содержания токсичных элементов: ГОСТ 26929-94. – Введ. 01.01.96. – М.: Стандартинформ, 2010. – 9 с.

**Определение содержания железа** в образце осадка проводили фотометрическим методом, основанным на взаимодействии  $\text{Fe}^{3+}$  с роданидом калия или аммония с образованием комплексного соединения кроваво-красного цвета:



с последующим сравнением оптической плотности окрашенного раствора золь анализируемого образца и раствора железа с известной концентрацией железа<sup>4</sup>. Исследование проводили на спектрофотометре марки СФ-2000.

Озоленный образец осадка массой 0,890 г растворяли в 20 см<sup>3</sup> 0,1 моль/дм<sup>3</sup> соляной кислоты. Для анализа из полученного раствора отбирали аликвоту объемом 1 см<sup>3</sup>, переносили в мерную колбу вместимостью 50 см<sup>3</sup>, добавляли 2 см<sup>3</sup> 33 %-й азотной кислоты, 6 капель 30 %-го раствора пероксида водорода, 40 см<sup>3</sup> раствора роданида калия, концентрацией 0,05 г/см<sup>3</sup>.

Методика предполагает построение градуировочного графика. С этой целью готовили серию стандартных растворов, содержащих железо (г/дм<sup>3</sup>): 0,001; 0,002; 0,003; 0,004. Для учета примеси железа в применяемых реактивах готовили контрольный раствор. Оптическую плотность стандартных растворов, а также раствора, содержащего анализируемую пробу, определяли при длине волны 490 нм в кювете с толщиной просвечиваемого слоя 10 мм.

**Содержание марганца Mn (II)** определяли сочетанием обратного титрования и титрования по заместителю [3]. Суть метода заключается во взаимодействии Mn (II) образца осадка с избытком перманганата калия. Затем непрореагировавший остаток перманганата калия вступает во взаимодействие с йодидом калия, в результате которого выделяется йод. Выделившийся йод оттитровывают тиосульфатом натрия.

**Определение содержания Zn, Cd, Pb и Cu** при их совместном присутствии проводили на анализаторе вольтамперометрическом марки АВА-3 (Санкт-Петербург). В состав анализатора входит трехэлектродная ячейка, состоящая из индикаторного углеситаллового электрода, хлоридсеребряного электрода сравнения и вспомогательного платинового электрода (рис. 3).

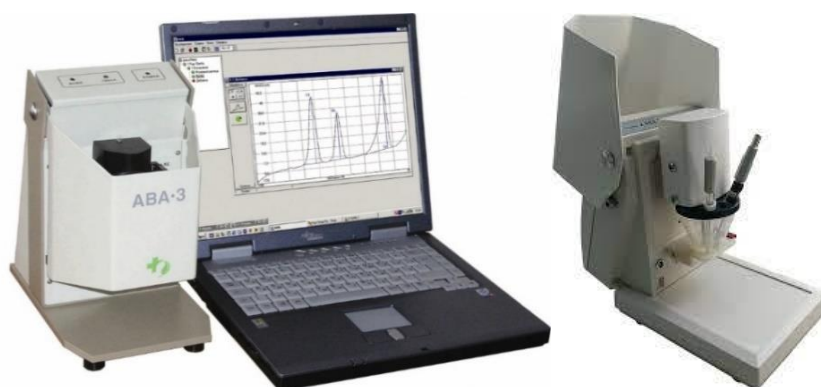


Рисунок 3. – Внешний вид анализатора вольтамперометрического АВА-3

В качестве фонового электролита, необходимого для обеспечения электропроводимости и растворения подготовленной пробы исследуемого объекта, при определении Zn, Cd, Pb и Cu использовали водный раствор, содержащий 0,5 моль/дм<sup>3</sup> муравьиной кислоты. В состав фонового электролита дополнительно вводили 0,1 г/дм<sup>3</sup>  $\text{Hg}^{2+}$ . Этот прием применяется для того, чтобы углеситалловому электроду придать свойства ртутного пленочного. В процессе электролиза исследуемого раствора на поверхности индикаторного углеситаллового

<sup>4</sup> Корма растительные. Методы определения железа: ГОСТ 27998-88. – Введ. 23.12.88. – М.: ГК СССР по стандартам, 1988. – 14 с.

электрода концентрируют ионы  $Zn^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$ ,  $Pb^{2+}$  и  $Cu^{2+}$ , образуя с ртутью амальгаму<sup>5</sup>. В результате уменьшаются пределы обнаружения и определения тяжелых металлов и, следовательно, возрастает чувствительность методики инверсионно-вольтамперометрического анализа содержания тяжелых металлов при их совместном присутствии.

Подготовку твердой пробы к анализу необходимо осуществлять методом мокрой минерализации. Минеральный остаток образца осадка, полученный при определении массовой доли органических веществ (масса навески осадка 0,648 г), использовали для определения содержания тяжелых металлов в образце осадка. Полученную золу растворили в 10 см<sup>3</sup> раствора фонового электролита (раствор 0,5 моль/дм<sup>3</sup> муравьиной кислоты).

Определение цинка, кадмия, свинца и меди при их совместном присутствии выполняли при следующих условиях: потенциал накопления – минус 1400 мВ; время накопления – 60 с; регистрация вольтамперной кривой от -1350 до +450 мВ при скорости развертки потенциала 500 мВ/с [4]. Определение неизвестных концентраций металлов проводили методом добавок. В качестве добавки использовали стандартный раствор, содержащий 3 мг/дм<sup>3</sup> цинка и по 2 мг/дм<sup>3</sup> свинца, кадмия и меди.

### Результаты исследования и их обсуждение

Расчет массовой доли органических веществ проводили по трем пробам образца осадка. Массы навесок гомогенизированного образца осадка до озоления ( $m_1$ , г) составили: 0,648; 0,745; 0,890. Массы образцов осадка после озоления ( $m_2$ , г) составили соответственно: 0,321; 0,388; 0,433. Расчет среднего значения массовой доли органической составляющей осадка проводили следующим образом:

$$\omega_1 = 0,321/0,648 \cdot 100 \% \approx 49,5 \%;$$

$$\omega_2 = 0,388/0,745 \cdot 100 \% \approx 52,1 \%; \quad \omega_{\text{среднее}} = (\omega_1 + \omega_2 + \omega_3)/3 = 50,1 \%;$$

$$\omega_3 = 0,433/0,890 \cdot 100 \% \approx 48,7 \%;$$

На рисунке 4 представлена градуировочная зависимость, построенная программой спектрофотометра СФ-2000 по результатам определения оптической плотности растворов стандартных образцов в координатах: содержание железа, г/дм<sup>3</sup> – оптическая плотность раствора.



Рисунок 4. – Градуировочный график содержания железа в осадке на спектрофотометре СФ-2000

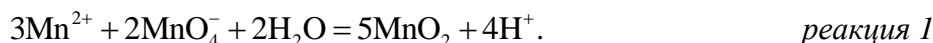
После измерения оптической плотности подготовленного образца осадка программой прибора СФ-2000 по градуировочной зависимости было рассчитано содержание железа в анализируемом образце, а именно: концентрация железа в мерной колбе вместимостью

<sup>5</sup> Вода природная, питьевая и сточная. Методика выполнения измерений массовых концентраций цинка, кадмия, свинца и меди методом инверсионной вольтамперометрии на анализаторах типа ТА: СТБ 1290-2001. – Введ. 01.04.02. – Минск: ГС Республики Беларусь, 2002. – 24 с.

50 см<sup>3</sup>, которая составила 0,050 г/дм<sup>3</sup>. Следовательно, в растворенной в мерной колбе аликвоте объемом 1 см<sup>3</sup> содержится 0,050 г/дм<sup>3</sup> · 50 см<sup>3</sup> · 10<sup>-3</sup> = 0,0025 г железа, а массовая доля железа в осадке массой 0,890 г, содержащемся в 20 см<sup>3</sup> аликвоты, составит

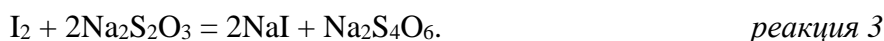
$$\omega_{\text{Fe}} = m_{\text{Fe}} / m_{\text{осад.}} \cdot 100 \% = 0,0025 \cdot 20 / 0,890 \cdot 100 \% \approx 5,6 \%$$

Для определения марганца навеску осадка массой  $m_{\text{осад.}} = 0,048$  г, растворили в 5 см<sup>3</sup> раствора уксусной кислоты в мерном цилиндре (раствор 1). Первоначально к полученному раствору 1, предположительно содержащему соединения Mn (II), добавляли по каплям 0,01 моль/дм<sup>3</sup> раствор KMnO<sub>4</sub> (титрант 1) при сильном перемешивании и прибавили небольшой избыток данного титранта. При этом протекала реакция 1:



Объем суспензии в мерном цилиндре составлял 9 см<sup>3</sup> (раствор 2). Дали осадку осесть, отобрали автоматическим дозатором порцию прозрачного раствора объемом 2 см<sup>3</sup> для обратного титрования. К отобранной порции раствора прилили 2 см<sup>3</sup> раствора серной кислоты ( $C_{\text{H}}(\text{H}_2\text{SO}_4) = 4$  моль-экв/дм<sup>3</sup>), ввели кристаллик KI (раствор 3) и титровали выделившийся йод раствором Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> эквивалентной концентрацией 0,01 моль-экв/дм<sup>3</sup> (титрант 2).

При этом протекали реакции 2 и 3 соответственно:



На титрование выделившегося йода было затрачено 4 см<sup>3</sup> ( $V_{\text{титр.2}}$ ) тиосульфата натрия (титрант 2) эквивалентной концентрацией 0,01 моль-экв/дм<sup>3</sup> ( $C_{\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \text{ титр.2}}$ ).

### Обработка результатов

Для определения массовой доли марганца в осадке выполнили следующий пересчет:

1. По закону эквивалентов содержание выделившегося в *реакции 2* йода, оттитрованного тиосульфатом натрия в процессе протекания *реакции 3*:

$$C_{\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \text{ титр.2}} \cdot V_{\text{титр.2}} = C_{\text{I раств.3}} \cdot V_{\text{раств.3}};$$

$$0,01 \text{ моль/дм}^3 \cdot 4 \text{ см}^3 = C_{\text{I раств.3}} \cdot 4 \text{ см}^3,$$

где  $C_{\text{I раств.3}} = 0,01$  моль-экв/дм<sup>3</sup> – концентрация йода в растворе 3,  $V_{\text{раств.3}}$  – объем раствора 3.

2. Раствор 3 общим объемом 4 см<sup>3</sup> содержал 2 см<sup>3</sup> раствора 2, следовательно, концентрация йода в отобранной порции раствора 2 составляет 0,02 моль-экв/дм<sup>3</sup>.

3. Концентрация и количество вещества избытка KMnO<sub>4</sub>, вступившего в *реакцию 2* с йодидом калия (не вступившего в *реакцию 1*), определяется по пропорции:

$$\frac{C_{\text{I раств.2}}}{5} = \frac{C_{\text{KMnO}_4 \text{ раств.2}}}{2},$$

$$C_{\text{KMnO}_4 \text{ раств.2}} = \frac{2}{5} \cdot 0,02 \text{ моль-экв/дм}^3 = 0,008 \text{ моль-экв/дм}^3,$$

$$n_{\text{изб.}} = C_{\text{KMnO}_4 \text{ раств.2}} \cdot V_{\text{раств.2}} = 0,008 \text{ моль-экв/дм}^3 \cdot 2 \text{ см}^3 \cdot 10^{-3} = 0,000016 \text{ моль}.$$

4. Первоначальное количество KMnO<sub>4</sub>, добавленное к ионам марганца (реакция 1):

$$n_{\text{исх.}} = C_{\text{KMnO}_4 \text{ титр.1}} \cdot V_{\text{титр.1}} = 0,01 \text{ моль-экв/дм}^3 \cdot 4 \text{ см}^3 \cdot 10^{-3} = 0,00004 \text{ моль}.$$

5. Количество  $\text{KMnO}_4$ , вступившего в реакцию 1, находим по разнице исходного количества и избыточного:

$$n_{\text{прореагир.}} = n_{\text{исх.}} - n_{\text{изб.}} = 0,0000384 \text{ моль.}$$

6. Количество и масса  $\text{Mn}^{2+}$ , вступившего в реакцию 1, определяется из пропорции:

$$\frac{n_{\text{MnO}_4^-}}{2} = \frac{n_{\text{Mn}^{2+}}}{3} \quad (n_{\text{MnO}_4^-} = n_{\text{прореагир.}}),$$

$$n_{\text{Mn}^{2+}} = \frac{3}{2} \cdot 0,0000384 \text{ моль} = 0,0000576 \text{ моль,}$$

$$m_{\text{Mn}^{2+}} = n_{\text{Mn}^{2+}} \cdot M_{\text{Mn}} = 0,0000576 \text{ моль} \cdot 54,938 \text{ г/моль} \approx 0,003164 \text{ г,}$$

где  $M_{\text{Mn}}$  – молярная масса марганца.

7. Массовая доля марганца в осадке:

$$\omega_{\text{Mn}} = \frac{m_{\text{Mn}^{2+}}}{m_{\text{осад.}}} \cdot 100 \% = 0,003164 / 0,048 \cdot 100 \% \approx 6,6 \%$$

На рисунке 5 представлены вольтамперные кривые разности пробы образца осадка и фонового электролита, а также пробы образца осадка с добавкой стандартного раствора, содержащего 3 мг/дм<sup>3</sup> цинка и по 2 мг/дм<sup>3</sup> свинца, кадмия и меди, зарегистрированные в процессе определения содержания Zn, Cd, Pb и Cu на анализаторе вольтамперметрическом АВА-3.

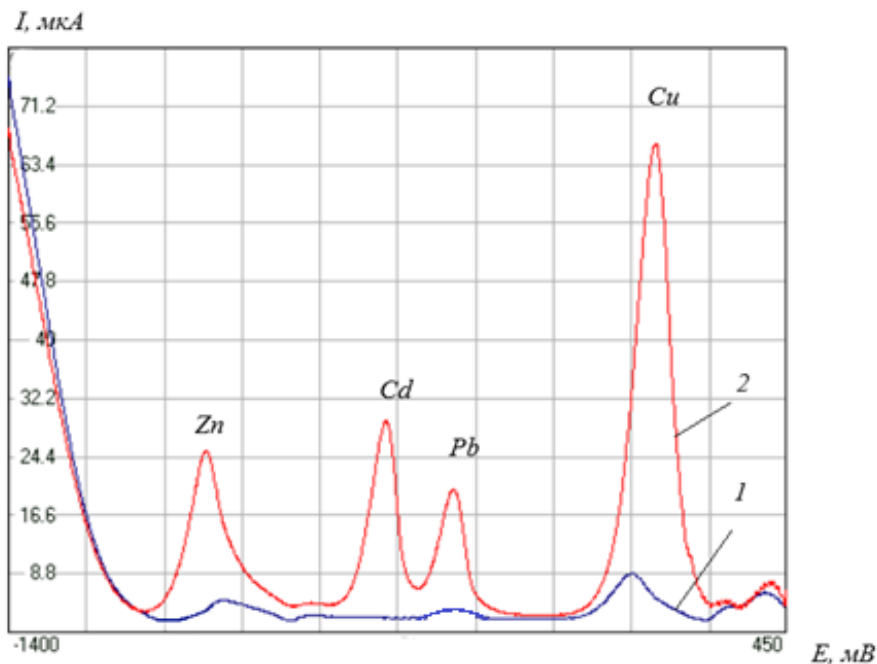


Рисунок 5. – Вольтамперные кривые разности пробы образца осадка и фонового электролита (1), а также пробы образца осадка с добавкой стандартного раствора и фонового электролита (2)

Проба содержит цинк, свинец и медь, о чем свидетельствуют максимумы токов в соответствующих областях потенциалов (кривая 1). При введении в анализируемую пробу добавки стандартного раствора, содержащего все определяемые металлы, максимумы токов увеличиваются (кривая 2). По относительному изменению высоты и площади пиков программой прибора автоматически рассчитывается концентрация металлов в анализируемой пробе [4].

По разности показателей вольтамперных кривых пробы и фона, пробы с добавкой стандартного раствора и фона специализированная компьютерная программа VALabTx, совмещенная с АВА-3, рассчитывает содержание каждого металла.

В процессе исследования установлено, что в навеске массой 648 мг содержится: 21,8 мг свинца; 0,107 мг цинка; 0,034 мг меди; кадмий не обнаружен.

Массовые доли металлов в образце осадка составляют:

$$\omega_{Pb} = 21,8/648 \cdot 100 \% \approx 3,364 \%;$$

$$\omega_{Zn} = 0,107/648 \cdot 100 \% \approx 0,017 \%;$$

$$\omega_{Cu} = 0,034/648 \cdot 100 \% \approx 0,005 \%.$$

Таким образом, в результате исследования химического состава образца осадка на корпусе и деталях скважинного электронасосного агрегата, проведенного согласно разработанной программе испытаний, получили представленные в таблице 1 данные.

**Таблица 1. – Массовая доля исследованных компонентов химического состава осадка на корпусе и деталях скважинного электронасосного агрегата**

№	Компонент химического состава осадка	Массовая доля компонента, %
1	Органические вещества	50,1
2	Железо	5,6
3	Марганец	6,6
4	Свинец	3,4
5	Цинк	0,017
6	Медь	0,005
7	Кадмий	не обнаружен

Следует отметить, что более 50 % от массы осадка составляют органические вещества. Среди вероятных причин можно отметить следующие:

– высокое значение показателя окисляемости воды, обусловленное эксплуатацией скважинного электронасосного агрегата в болотистой местности, вблизи залегания торфяников и нефтегазовых месторождений (значение показателя окисляемости при этом может достигать 400 мг/дм<sup>3</sup>, в то время как норма для питьевой воды составляет не более 5 мг/дм<sup>3</sup>);

– попадание в скважину сточных вод с отходами животноводства, растениеводства и земледелия.

В осадке обнаружено относительно высокое содержание свинца (3,4 %). Одной из причин накопления Pb в природных водах является процесс его поглощения глинами. Кроме того, металл активно осаждается сероводородом, углекислым газом. Источниками поступления свинца в почвы являются:

– старые водопроводные трубы, соединенные свинцовым сварным швом;

– попадание в скважину сточных вод гальвано-производств (например, аккумуляторного завода);

– попадание в скважину сточных вод производств, использующих в качестве сырья серу (например, завода по производству резины).

Черный цвет осадка может быть обусловлен достаточно высоким содержанием соединений марганца (6,6 %). Среди самых распространенных причин попадания металла в стоки можно назвать процессы обогащения марганцевых окисленных руд, производство гальванических элементов и органический синтез. Также к накоплению металла приводит недостаточно эффективная работа водоочистных систем.

Массовая доля железа в осадке составила 5,6 %. Как следует из технической документации на скважинный электронасосный агрегат, для изготовления рабочих ступеней предприятие-изготовитель применяет полимерные и нержавеющие материалы, чугун и чугун с катафорезным покрытием, бронзу, литую нержавеющую сталь. Скорость коррозии материалов, в том числе металлов, зависит в первую очередь от агрессивности воздействующих



на них сред. К агрессивным средам, безусловно, следует относить сточные воды технических предприятий, воду с высоким содержанием газообразных веществ. Следует отметить, что при повышении температуры растворимость газов уменьшается, а скорость протекающих химических реакций увеличивается.

В исследованном образце осадка обнаружены небольшие количества цинка и меди (0,017 и 0,005 % соответственно), следовательно, соединения этих металлов не вносят существенного вклада в образование массы осадка на корпусе агрегата.

Кроме перечисленных компонентов в состав осадка входит не растворимый в ряде кислот и не разлагаемый при температуре воздействия 500 °С контаминант, предположительно SiO<sub>2</sub>.

При растворении в соляной кислоте в части образца осадка выделялся сероводород (характерный запах). Таким образом, можно предположить, что в состав осадка входят соединения серы, например, сульфиды металлов.

Анализ полученных результатов исследования образца осадка на корпусе скважинного электронасосного агрегата позволяет сформулировать следующие рекомендации по эксплуатации оборудования:

1. После бурения скважины, перед началом монтажа и ввода погружного электронасосного агрегата в эксплуатацию, провести отбор проб воды из скважины для определения показателя окисляемости воды, показателя общей минерализации, показателя кислотности рН. (Для определения этих показателей применяется доступное оборудование и экспрессные методики. Анализ может быть выполнен силами предприятия-изготовителя).

В случае обнаружения существенного превышения предельно допустимых значений показателей, установленных для вод хозяйственно-бытового назначения, рекомендуется провести более широкий спектр исследования воды для принятия решения о возможности выполнения монтажных работ и ввода агрегата в эксплуатацию.

2. Перед монтажом оборудования изучить техническую документацию на систему водоснабжения скважины, а также оценить ее техническое состояние непосредственно на объекте. Обратит внимание на качество системы водоподвода (а именно, на степень коррозии материалов труб), если таковая имеется [4].

3. Рекомендовать потребителю предусмотреть систему дополнительной очистки (фильтрации) воды перед ее поступлением в корпус погружного электронасосного агрегата для исключения попадания песка и механических примесей.

### **Заключение**

Исследование химического состава образца осадка на корпусе и деталях скважинного электронасосного агрегата было проведено согласно разработанной программе испытаний. Массовую долю органических веществ определяли с использованием стандартной методики кислотного («мокрого») озонирования. В результате обнаружено, что органическая составляющая осадка достигает 50,1 %. Массовую долю железа, которая в исследованном образце осадка составила 5,6 %, определяли методом фотоколориметрии на спектрофотометре СФ-2000. Для определения содержания марганца в образце осадка использовали титриметрический метод анализа, основанный на сочетании обратного титрования и титрования по заместителю. По результатам титрования выполнен расчет содержания марганца в исследованном образце (6,6 %). Для определения содержания в образце осадка Pb, Cd, Zn и Cu применили метод инверсионной вольтамперометрии. В результате установили, что массовая доля свинца в исследованном образце составляет 3,4 %; цинка – 0,017 %; меди – 0,005 %; кадмий не обнаружен.

Высокое содержание органических веществ в образце осадка обусловлено, вероятнее всего, эксплуатацией скважинного электронасосного агрегата в болотистой местности, вблизи залегания торфяников и нефтегазовых месторождений, а также попаданием в скважину сточных вод с отходами животноводства, растениеводства и земледелия.

Относительно высокое содержание марганца (6,6 %) может свидетельствовать об эксплуатации насоса в непосредственной близости от производств, например, гальванических элементов, а также накоплению металла способствует недостаточно эффективная работа водоочистных систем.

В исследованном образце осадка массовая доля железа составила 5,6 %. Для изготовления рабочих ступеней предприятие-изготовитель применяет полимерные и нержавеющие материалы, чугун и чугун с катафорезным покрытием, бронзу, литую нержавеющую сталь. Однако при эксплуатации насосов в агрессивных средах скорость коррозии материалов, в том числе металлов, существенно возрастает.

На основании полученных результатов исследования предложены рекомендации по эксплуатации погружных электронасосных агрегатов, включающие в первую очередь необходимость забора и анализа проб воды из скважины перед монтажом оборудования для определения таких показателей, как содержание железа в воде, общая минерализация, кислотность рН, жесткость воды. Кроме того, необходимо обращать внимание на качество системы водоподвода на месте монтажа оборудования (а именно, оценить степень коррозии материалов труб). Перед монтажом оборудования необходимо рекомендовать потребителю предусмотреть систему дополнительной очистки (фильтрации) воды перед ее поступлением в корпус погружного электронасосного агрегата для исключения попадания в него песка и механических примесей.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Рекомендации по применению высокоэффективного насосного оборудования для водозаборных скважин / Институт жилищно-коммунального хозяйства НАН Беларуси; под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. В.О. Китикова. – Минск: «Типография НьюГрафикс», 2021. – 72 с. – ISBN 978-985-530-784-7.
2. Козорез, А.С. Скважинные электронасосные агрегаты с синхронными электродвигателями на постоянных магнитах: монография / А.С. Козорез, В.О. Китиков, Ю.А. Башко; под общ. ред. В.О. Китикова; Институт жилищно-коммунального хозяйства Национальной академии наук Беларуси. – Минск: Беларуская навука, 2023. – 162 с. – ISBN 978-985-08-2992-4.
3. Практикум по общей и неорганической химии: учеб. пособие для студентов вузов / В.И. Фролов [и др.]; под ред. Н.Н. Павлова, В.И. Фролова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Дрофа, 2002. – 304 с. – ISBN 5-7107-4293-7.
4. Матвейко, Н.П. Контроль содержания тяжелых металлов в растительном сырье и лекарствах на их основе / Н.П. Матвейко [и др.] // Новое в технике и технологии в текстильной и легкой промышленности: материалы докладов Междунар. науч.-техн. конф., Витебск, 25–26 ноября 2015 г. / Витебский государственный технологический университет. – Витебск: ВГТУ, 2015. – С. 287–289. – EDN: UYJBYL.

**Анализ химического состава осадка корпуса скважинного электронасосного агрегата**  
**Chemical composition analysis of sediment on the casing of well-bore electric pump unit**

**Брайкова Алла Мечиславовна**

кандидат химических наук, доцент

Учреждение образования «Белорусский государственный экономический университет», кафедра физикохимии материалов и производственных технологий, заведующий кафедрой

Адрес: Партизанский пр-т, 26,  
220070, г. Минск, Беларусь

Email: Alina-tsynkel@yandex.by

SPIN-код: 6066-1763

**Alla M. Braikova**

PhD in Chemical Sciences, Associate Professor

Educational Institution  
«Belarusian State Economic University»,  
Chair of Physical Chemistry of Materials  
and Production Technologies,  
Head of the Chair

Address: Partizanskiy ave., 26,  
220070, Minsk, Belarus

Email: Alina-tsynkel@yandex.by

ORCID: 0000-0003-4146-3012

**Саевич Константин Федорович**

доктор биологических наук, профессор

Учреждение образования «Белорусский государственный экономический университет», кафедра физикохимии материалов и производственных технологий, профессор

Адрес: Партизанский пр-т, 26,  
220070, г. Минск, Беларусь

Email: konstantin.saevich@mail.ru

SPIN-код: 1791-6569

**Konstantin F. Saevich**

Grand PhD in Biological Sciences, Professor

Educational Institution  
«Belarusian State Economic University»,  
Chair of Physical Chemistry of Materials  
and Production Technologies, Professor

Address: Partizanskiy ave., 26,  
220070, Minsk, Belarus

Email: konstantin.saevich@mail.ru

**Базыльчук Татьяна Андреевна**

кандидат технических наук

Учреждение образования «Белорусский государственный экономический университет», факультет коммерции и туристической индустрии, заместитель декана

Адрес: Партизанский пр-т, 26,  
220070, г. Минск, Беларусь

Email: tagap0nova@yandex.by

SPIN-код: 2648-4684

**Tatyana A. Bazylchuk**

PhD in Technical Sciences

Educational Institution  
«Belarusian State Economic University»,  
Faculty of Commerce and Tourism Industry,  
Deputy Dean

Address: Partizanskiy ave., 26,  
220070, Minsk, Belarus

Email: tagap0nova@yandex.by

ORCID: 0000-0001-9644-6389

**Якубович Мария Юрьевна**

Учреждение образования «Белорусский государственный экономический университет», факультет коммерции и туристической индустрии, студент

Адрес: Партизанский пр-т, 26,  
220070, г. Минск, Беларусь

Email: macha\_45@mail.ru

**Maria Yu. Yakubovich**

Educational Institution  
«Belarusian State Economic University»,  
Faculty of Commerce and Tourism Industry,  
student

Address: Partizanskiy ave., 26,  
220070, Minsk, Belarus

Email: macha\_45@mail.ru

**Бондарев Дмитрий Владимирович**

Открытое акционерное общество  
«Завод Промбурвод», директор

Адрес: ул. Асаналиева, 29,  
220024, г. Минск, Беларусь

Email: bondarev@promburvod.com

**Dmitry V. Bondarev**

Open Joint-Stock Company  
«Zavod Promburvod», Director

Address: Asanalieva str., 29,  
220024, Minsk, Belarus

Email: bondarev@promburvod.com

***Козорез Александр Сергеевич***

Открытое акционерное общество  
«Завод Промбурвод», заместитель  
директора по коммерческим вопросам

Адрес: ул. Асаналиева, 29,  
220024, г. Минск, Беларусь

Email: zavod\_promburvod@mail.ru

***Alexander S. Kozorez***

Open Joint-Stock Company  
«Zavod Promburvod»,  
Deputy Director for Commercial Affairs

Address: Asanalieva str., 29,  
220024, Minsk, Belarus

Email: zavod\_promburvod@mail.ru

## CHEMICAL COMPOSITION ANALYSIS OF SEDIMENT ON THE CASING OF WELL-BORE ELECTRIC PUMP UNIT

**Braikova A.M., Saevich K.F., Bazylchuk T.A.,  
Yakubovich M.Yu., Bondarev D.V., Kozorez A.S.**

*Purpose.* Determination of the chemical composition of a sediment sample on the casing and parts of a well-bore electric pump unit, which has been operated for several years under conditions of the Kursk-Belgorod anomaly; identifying the possible causes of unit failure and developing recommendations for equipment operation.

*Methods.* The program for studying a sediment sample has been developed, including determination of the mass fraction of organic substances (the organic component of the sediment) by the weight method, mass fraction of iron by the spectrophotometric method on an SF-2000 spectrophotometer, the mass fraction of manganese by the titrimetric method, content of zinc, cadmium, lead and copper by stripping voltammetry on the voltammetric analyzer AVA-3.

*Findings.* The content of organic substances in the sediment (50.1 %), mass fractions of iron (5.6 %), manganese (6.6 %), lead (3.4 %), zinc (0.017 %), copper (0.005 %) was established, no cadmium was detected. The probable reasons for the accumulation of sediment on the surface of a well-bore electric pump unit are formulated. Based on the results of the study, the recommendations were proposed for the operation of submersible electric pump units, including above all the need to take and analyze water samples from the well before installing the equipment.

*Application field of research.* Based on the results obtained from studying a sample of sediment from the body of a well-bore electric pump unit, the recommendations for the operation of the equipment were formulated.

*Keywords:* sediment; well electric pump unit; chemical composition; titration; spectrophotometry; stripping voltammetry.

(The date of submitting: November 16, 2023)

### REFERENCES

1. Kitikov V.O., Kozorez A.S., Baranovskiy I.V., Bashko Yu.A., Kravchenko A.A. *Rekomendatsii po primeniyu vysokoeffektivnogo nasosnogo oborudovaniya dlya vodozabornykh skvazhin* [Recommendations for the use of highly efficient pumping equipment for water wells]: ed. by V.O. Kitikov. Institute of Housing and Communal Services of the National Academy of Sciences of Belarus. Minsk: NewGraphics Printing House, 2021. 72 p. ISBN 978-985-530-784-7.
2. Kozorez A.S., Kitikov V.O., Bashko Yu.A. *Skvazhinnye elektronasosnye agregaty s sinkhronnymi elektrodvigatelyami na postoyannykh magnitakh* [Downhole electric pump units with synchronous electric motors on permanent magnets]: monograph. Institute of Housing and Communal Services of the National Academy of Sciences of Belarus. Minsk: Belaruskaya Navuka, 2023. 162 p. ISBN 978-985-08-2992-4.
3. Frolov V.I., et al. *Praktikum po obshchey i neorganicheskoy khimii* [Workshop on general and inorganic chemistry]: tutorial for university students. Ed. by N.N. Pavlov, V.I. Frolov. 2nd ed. Moscow: Drofa, 2002. 304 p. ISBN 5-7107-4293-7.
4. Matveiko N.P., Braikova A.M., Bushilo K.A., Sadovskiy V.V. *Kontrol' soderzhaniya tyazhelykh metallov v rastitel'nom syr'e i lekarstvakh na ikh osnove* [Control of the content of heavy metals in plant materials and medicines based on them]. *Proc. Intern. scientific-technical conf. «Novoe v tekhnike i tekhnologii v tekstil'noy i legkoy promyshlennosti»* [«New in engineering and technology in textile and light industry»], Vitebsk, November 25-26, 2015: Vitebsk State Technological University. Vitebsk: VSTU, 2015. Pp. 287–289. EDN: UYJBYL.