

УДК 543.34

СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОНЕЧНОЙ ТОЧКИ ТИТРОВАНИЯ ПРИ АРГЕНТОМЕТРИЧЕСКОМ ОПРЕДЕЛЕНИИ ХЛОРИДОВ В ПРИРОДНЫХ ВОДАХ

Тубашева Альмира Батырхановна, студент, направление подготовки 04.03.01 Химия, Оренбургский государственный университет, Оренбург
e-mail: tubasheva2002@gmail.com

Юдин Александр Андреевич, преподаватель кафедры химии, Оренбургский государственный университет, Оренбург
e-mail: yudin-s97@yandex.ru

Научный руководитель: **Сальникова Елена Владимировна**, доктор биологических наук, кандидат химических наук, доцент, заведующий кафедрой химии, Оренбургский государственный университет, Оренбург
e-mail: salnikova_ev@mail.ru

***Аннотация.** Для количественной оценки основных показателей качества воды, и содержания хлоридов в частности, чаще всего используют осадительное argentometricкое титрование. В основе данного анализа лежит образование труднорастворимых осадков.*

Целью данной работы является сравнение методов определения конечной точки титрования при argentometricком определении хлоридов в сильно минерализованных водах. Объектом исследования стали пластиковые воды из скважины № 78 посёлка Весенний Оренбургской области. Количество хлорид-ионов определялось четырьмя методами argentometricкого титрования.

Среднее содержание хлорид-ионов в предложенном объекте исследования составляет 2273,52 мг/л. Статистическая обработка результатов позволила выяснить, что argentometricкие методы химического анализа незначительно различаются по воспроизводимости.

***Ключевые слова:** пластиковые воды, метод Мора, метод Фольгарда, метод Фаянса, метод Гей-Люссака.*

***Для цитирования:** Тубашева А. Б., Юдин А. А. Сравнение методов определения конечной точки титрования при argentometricком определении хлоридов в природных водах // Шаг в науку. – 2022. – № 4. – С. 14–18.*

COMPARISON OF METHODS FOR DETERMINING THE END POINT OF TITRATION IN THE ARGENTOMETRIC DETERMINATION OF CHLORIDES IN NATURAL WATERS

Tubasheva Almira Batyrhanovna, student, training program 04.03.01 Chemistry, Orenburg State University, Orenburg
e-mail: tubasheva2002@gmail.com

Yudin Alexander Andreevich, Lecturer of the Department of Chemistry, Orenburg State University, Orenburg
e-mail: yudin-s97@yandex.ru

Research advisor: **Salnikova Elena Vladimirovna**, Doctor of Biological Sciences, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Chemistry, Orenburg State University, Orenburg
e-mail: salnikova_ev@mail.ru

***Abstract.** To quantify the main indicators of water quality and chloride content, in particular, sedimentary argentometric titration is most often used. The basis of this analysis is the formation of insoluble sediments.*

The purpose of this work is to compare methods for determining the end point of titration in the argentometric determination of chlorides in highly mineralized waters. The object of the study was reservoir water from well No. 78 of the village of Spring, Orenburg region. The amount of chloride ions was determined by four methods of argentometric titration.

The average content of chloride ions in the proposed object of study is 2273.52 mg/l. Statistical processing of the



results allowed us to find out that the argentometric methods of chemical analysis differ slightly in reproducibility.

Key words: formation waters, the Mohr method, the Folgard method, the Faience method, the Gay-Lussac method.

Cite as: Tubasheva, A. B., Yudin, A. A. (2022) [Comparison of methods for determining the end point of titration in the argentometric determination of chlorides in natural waters]. *Shag v nauku* [Step into science]. Vol. 4, pp. 14–18.

Природные воды являются растворами сложного состава с широким диапазоном содержания растворенных веществ как по их числу, так и по концентрации. Их состав формируется при контакте с различными горными породами, почвами и газами. Кроме того, водоснабжение промышленных и коммунальных водопроводов образует сточные воды, которые чаще без всякой очистки спускаются в водоемы и подземные воды, загрязняя их.

Нефтяные и газовые месторождения благодаря примесям сырой нефти, нерастворимых углеводородов, тяжелых металлов, взвешенных частиц и минеральных солей способны образовывать пластовые воды, характерный состав и свойства которых негативно влияют на состояние окружающей природной среды [6, с. 96].

Пластовые воды характеризуются неоднородным химическим составом. Среди элементов, образующих растворенные соли такой воды, чаще встречаются натрий, калий, магний, кальций, кислород, хлор, сера, азот, водород, йод, бром и некоторые другие [4, с. 70].

Минерализация воды во многом определяет ее свойства. Так, невысокое содержание солей благодаря росту рН водного раствора снижает поверхностное натяжение фаз, что позволяет существенно увеличить добычу нефти. С другой стороны, закачка низкоминерализованного раствора связана с увеличением смачиваемости породы [2, с. 65]. Особенности формирования пластовых вод играют роль не только в правильной и эффективной разработке месторождений углеводородов, но и в прогнозировании промышленной ценности вод как химического сырья [3, с. 4].

Практически во всех природных водах, в том числе и пластовых, содержатся соли соляной кис-

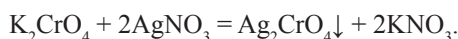
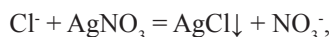
лоты – хлориды. Их концентрация может достигать огромных значений: от 10 до 1000 мг/л и более. Содержание анионов такого вида в природной воде обусловлено, прежде всего, вымыванием соледержащих пород, а также сбросом в водоемы промышленных и сточных вод. Хлориды хорошо растворимы и подвергаются малой сорбцией взвешенными веществами. Благодаря этим свойствам они обладают высокой миграционной способностью, поэтому постоянный контроль содержания хлоридов в воде водоемов имеет большое значение [1, с. 95].

Для определения содержания хлоридов в воде применяются различные химические и физико-химические методы анализа. Из всех методов определения содержания хлоридов в воде более распространенным в аналитической практике является argentометрический. Методы argentометрического титрования разнообразны, их используют для определения роданидов, хлоридов, бромидов, йодидов и других ионов.

В зависимости от того, каким образом устанавливают точку эквивалентности, выделяют несколько методов argentометрического анализа. Их делят на индикаторные методы (Мора, Фаянса, Фольгарда) и безиндикаторные (Гей-Люссака).

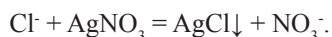
Наиболее распространенным методом argentометрического анализа является метод Мора, основанный на прямом титровании анализируемой жидкости стандартным раствором нитрата серебра. Определение проводят в присутствии индикатора – 5%-ного раствора хромата калия K_2CrO_4 [5].

Избыток нитрата серебра при взаимодействии с индикатором дает осадок кирпичного цвета, что и указывает на конечную точку титрования:



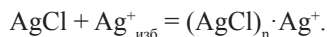
Метод Фаянса – это метод прямого титрования хлоридов раствором $AgNO_3$ с применением органических красителей, называемых «адсорбционными

индикаторами». Образующая соль хлорида серебра до точки эквивалентности на своей поверхности адсорбирует преимущественно Cl^- -ионы:



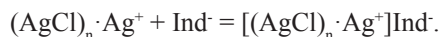
Чтобы нейтрализовать отрицательный заряд, к частицам осадка будут притягиваться положи-

тельно заряженные ионы из раствора – ионы Ag^+ :



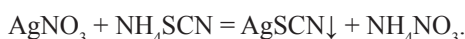
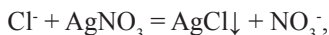
В процессе дальнейшего титрования краситель (флуоресцеин) осаждается на заряженной поверхности частиц хлорида серебра, что сопровождается

резким изменением цвета осадка из белого в розовый или красный [7, с. 37]:



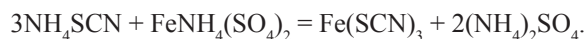
Метод Фольгарда предусматривает добавление избытка раствора соли серебра к раствору, содержащему хлорид-ионы, с последующим обратным

титрованием избыточного серебра роданидом аммония или калия [7, с. 36]:



Железо-аммонийные квасцы $\text{FeNH}_4(\text{SO}_4)_2$ используют в качестве индикатора, так как ион Fe^{3+} взаимодействует с избытком роданид-иона с обра-

зованием окрашенного в буроватый цвет роданидного комплекса железа:



Титрование можно проводить в сильноокислых растворах. В методе Фольгарда число мешающих ионов меньше, чем в других аргентометрических методах.

В безындикаторном методе Гей-Люссака анализируемый раствор титруют стандартным раствором нитрата серебра. Прямое титрование по этому методу можно считать законченным в случае просветления раствора в точке эквивалентности. Также достижение КТТ можно проверить, добавив в небольшие порции титруемого раство-

ра AgNO_3 и NaCl . В обеих порциях помутнение должно быть одинаковым, иначе раствор считается недотитрованным (помутнение при добавлении AgNO_3) или перетитрованным (помутнение при добавлении NaCl)¹.

При длительном хранении концентрация рабочего раствора нитрата серебра изменяется, поэтому перед анализом воды необходимо проводить стандартизацию AgNO_3 , обычно используя раствор NaCl с точной концентрацией. Концентрацию раствора нитрата серебра определяют по формуле:

$$C(\text{AgNO}_3) = \frac{C(\text{NaCl}) \cdot V(\text{NaCl})}{V(\text{AgNO}_3)}, \quad (1)$$

где

$C(\text{NaCl})$ – концентрация стандартного раствора NaCl , равная 0,1 моль/л;

$V(\text{NaCl})$ – объем стандартного раствора NaCl , взятый на титрование раствора AgNO_3 , мл;

$V(\text{AgNO}_3)$ – объем раствора AgNO_3 , затраченный в ходе титрования, мл.

Значения концентраций, определенных каждым методом аргентометрического анализа, приведены в таблице 1.

Таблица 1. Стандартизация AgNO_3 по NaCl

Аргентометрический метод анализа	Объем AgNO_3 , мл	Концентрация AgNO_3 , моль/л
Метод Мора	25,15	0,0994
Метод Фаянса	25,82	0,0968
Метод Фольгарда	23,50	0,0970
Метод Гей-Люссака	26,57	0,0941

Источник: разработано автором Тубашевой А. Б. на основе полученных данных во время эксперимента

¹ Уильямс У. Дж. Определение анионов: справочник. – Москва: Химия. – 1982. – 624 с.

В методах Мора, Фаянса и Гей-Люссака для определения содержания ионов хлора используется следующая формула:

$$C(\text{Cl}^-) = \frac{C(\text{AgNO}_3) \cdot V(\text{AgNO}_3) \cdot M(\text{Cl}^-) \cdot 1000}{V(\text{Cl}^-)}, \quad (2)$$

где

$M(\text{Cl}^-)$ – молярная масса иона хлора, г/моль;

$V(\text{Cl}^-)$ – объем титруемого анализируемого раствора, мл.

В методе Фольгарда содержание хлорид-ионов определяется по формуле:

$$C(\text{Cl}^-) = \frac{(C(\text{AgNO}_3) \cdot V(\text{AgNO}_3)_{\text{изб}} - C(\text{NH}_4\text{SCN}) \cdot V(\text{NH}_4\text{SCN})) \cdot M(\text{Cl}^-) \cdot 1000}{V(\text{Cl}^-)}, \quad (3)$$

где

$C(\text{NH}_4\text{SCN})$ – концентрация стандартного раствора NH_4SCN , равная 0,1 моль/л;

$V(\text{NH}_4\text{SCN})$ – объем стандартного раствора NH_4SCN , затраченный в ходе титрования, мл.

Пластовые воды, взятые из скважины № 78 в поселке Весенний Оренбургской области, имеют в своем составе большое количество Cl^- -ионов. Результаты определений содержания хлоридов argentометрическими методами представлены в таблице 2.

Таблица 2. Argentометрическое определение Cl^- -ионов в пластовых водах

Argentометрический метод анализа	Содержание хлоридов, мг/л
Метод Мора	2344,65 ± 30,87
Метод Фаянса	2297,05 ± 40,98
Метод Фольгарда	2316,26 ± 23,50
Метод Гей-Люссака	2137,29 ± 86,19

Источник: разработано автором Тубашевой А. Б. на основе полученных данных во время эксперимента

Достоверность результатов можно оценить, сравнивая значения концентраций Cl^- -ионов, полученных методами Фаянса, Фольгарда и Гей-Люссака, со значением концентрации по методу Мора (рисунок 1).

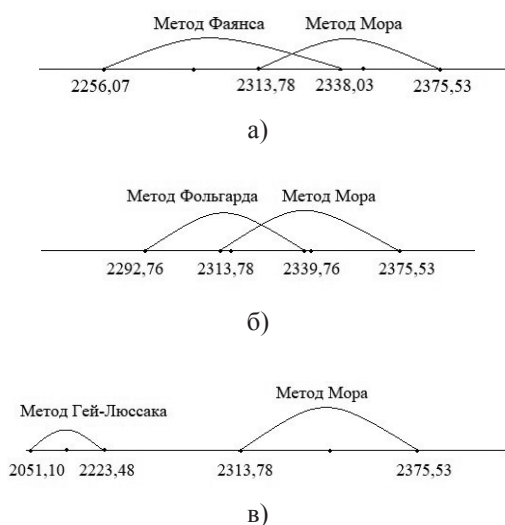


Рисунок 1. Сравнение концентраций Cl^- -ионов: а) метода Мора и метода Фаянса; б) метода Мора и метода Фольгарда; в) метода Мора и метода Гей-люссака

Источник: разработано автором Тубашевой А. Б. на основе полученных данных во время эксперимента

Для сравнения методов аргентометрического анализа по воспроизводимости применяется критерий Фишера:

$$F_{\text{эксп1}} = \frac{S_{\text{Фаянса}}^2}{S_{\text{Мора}}^2} = \frac{272,19}{154,57} = 1,76;$$

$$F_{\text{эксп2}} = \frac{S_{\text{Мора}}^2}{S_{\text{Фольгарда}}^2} = \frac{154,57}{89,43} = 1,73;$$

$$F_{\text{эксп3}} = \frac{S_{\text{Гей-Люссака}}^2}{S_{\text{Мора}}^2} = \frac{1204,34}{154,57} = 7,79.$$

Так как $F_{\text{табл}} = 19,00$ для всех значений, то есть $F_{\text{табл}} > F_{\text{эксп1}}$, $F_{\text{табл}} > F_{\text{эксп2}}$ и $F_{\text{табл}} > F_{\text{эксп3}}$, то расхождение между дисперсиями незначимо. Статистическая обработка результатов позволила выяснить, что аргентометрические методы химического анализа незначительно различаются по воспроизводимости.

Литература

1. Горбунова М. О., Абакумова Ю. В. Тест-метод полуколичественного определения хлоридов в воде с использованием газовой экстракции хлора // Вода: химия и экология. – 2012. – № 3(45). – С. 95–99.
2. Кожевников А. В. Влияние минерализации пластовых вод на проницаемость и нефтеотдачу коллекторов // Научный форум. Сибирь. – 2016. – Т. 2. – № 3. – С. 64–65.
3. Ланина Т. Д., Литвиненко В. И., Варфоломеев Б. Г. Процессы переработки пластовых вод месторождений углеводородов: монография. – Ухта: УГТУ, 2006. – 172 с.
4. Мещурова Т. А., Ходяшев М. Б. К вопросу о пластовой и подтоварной воде // Экология урбанизированных территорий. – 2018. – № 4. – С. 68–73.
5. Рожкова О. А. Титриметрические методы анализа в контроле качества воды // Электронный научно-методический журнал Омского ГАУ. – 2019. – № 2 (17). – С. 22.
6. Самтанова Д. Э., Сангаджиева Л. Х. Влияние минерализованных пластовых вод на загрязнение почвенного покрова // Известия Саратовского университета. – 2013. – Т. 13. – № 2. – С. 96–101.
7. Фрумина Н. С., Лисенко Н. Ф., Чернова М. А. Аналитическая химия хлора: монография. – М.: Наука, 1983. – 200 с.

Статья поступила в редакцию: 27.05.2022; принята в печать: 25.10.2022.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.