

УДК 544.77, 542.06, 537.52

## ОБРАЗОВАНИЕ КРЕМНИЙОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ В ПРОЦЕССАХ ОЧИСТКИ ВОДЫ

**Костикова Лариса Анатольевна,**

аспирант кафедры общей химии и химической технологии  
Института физики высоких технологий Национального исследовательского  
Томского политехнического университета, Россия, 634050, г. Томск,  
пр. Ленина, 30. E-mail: lak@tpu.ru

**Шиян Людмила Николаевна,**

кандидат физико-математических наук, доцент кафедры общей химии и  
химической технологии Института физики высоких технологий Национального  
исследовательского Томского политехнического университета,  
Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30. E-mail: lshiy@rambler.ru

**Мачехина Ксения Игоревна,**

кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры общей химии  
и химической технологии Института физики высоких технологий  
Национального исследовательского Томского политехнического университета,  
Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30. E-mail: mauthksu@yandex.ru

**Егоров Николай Борисович,**

кандидат химических наук, доцент кафедры химической технологии  
редких, рассеянных и радиоактивных элементов Физико-технического  
института Национального исследовательского Томского политехнического  
университета, Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.  
E-mail: egorov@tpu.ru

*Исследование проблемы удаления ионов кремния из подземных вод в процессах водоочистки и возможность ионов кремния участвовать в формировании кремнийорганических коллоидных соединений, устойчивых к физико-химическим воздействиям, является актуальной задачей и имеет практическую значимость для разработчиков водоочистных устройств.*

**Цель работы:** установить последовательность формирования кремнийорганических коллоидных соединений в процессе водо-подготовки.

**Методы исследования:** фотоколориметрия, рН-метрия, титриметрия, оптические методы.

**Результаты.** Исследовано влияние ионов кремния на образование коллоидных кремнийорганических соединений железа, присутствие которых в подземных водах снижает производительность установок водоподготовки. Показано, что ионы кремния взаимодействуют с органическими веществами гумусового происхождения с образованием устойчивых коллоидных соединений. Определено мольное соотношение ионов кремния и гуминовых веществ (критическая концентрация мицеллообразования), при котором образуются коллоидные соединения. Полученное мольное соотношение ионов кремния и гуминовых веществ составляет 7:2 соответственно. Предложена схема образования золя кремнийорганических соединений и определен дзета-потенциал, значение которого составляет  $-21$  мВ. Процесс образования кремнийорганических коллоидных соединений в растворе продемонстрирован экспериментом по смешению двух растворов, содержащих ионы кремния и гумата натрия, с одновременным определением размеров частиц. В процессе образования кремнийорганических коллоидных соединений максимум распределения частиц изменяется в течение 30 минут в интервале от 50 до 70 нм. При этом происходит укрупнение частиц и процентное содержание частиц с размерами от 100 до 100000 нм изменяется от 68 до 80 %.

**Ключевые слова:**

Соединения кремния, размер частиц, кремнийорганические вещества, природные воды, очистка воды.

### Введение

В работе рассмотрена способность ионов кремния, содержащихся в подземных водах Западной Сибири, участвовать в формировании кремнийорганических соединений. В природных условиях кремний мигрирует в виде различных соединений, как в ионной, так и в коллоидной форме [1–3]. В соответствии с СанПиН 2.1.4.1074–01 [4] содержание ионов кремния нормируется значением 10 мг/л. В зарубежных документах нормативы по содержанию кремния в воде отсутствуют в силу не-

актуальности вопроса. В настоящее время в отечественной нормативной базе по питьевой воде планируется аннулирование значения по предельному содержанию кремния ввиду отсутствия должной обоснованности. Тем не менее, содержание ионов кремния в подземных водах Западной Сибири влияет не только на качество вод, но и на эффективность работы установок водоподготовки [5]. Это связано с тем, что совместное присутствие ионов кремния и гуминовых веществ в воде способствует образованию кремнийорганических соединений,

**Таблица.** Данные количественного химического анализа подземных вод, пробы которых отобраны на территории Томской области

**Table.** Data of quantitative chemical analysis of the groundwater sampled in the Tomsk region

Место отбора пробы Place the sample selection	pH	Жесткость, °Ж Water hardness, °H	Fe <sub>общ.</sub> , мг/л Fe <sub>total</sub> , mg/l	Mn, мг/л mg/l	Si, мг/л mg/l	ПО, мгО/л mgO/l
с. Александровское Aleksandrovskoe	6,8	4,3	5,1	0,2	14,6	5,2
п. Каргасок Kargasok	6,6	4,8	7,5	0,11	19,5	5,7
п. Мыльдзино Myldzhino	6,6	6,0	11,7	0,14	18,5	6,5
Северо-Васюганское месторождение North Vasyugan field	6,5	4,9	16,3	0,19	19,7	8,8
п. Соболиное Sobolinoe	6,6	6,0	9,4	0,92	11,0	6,1
с. Подгорное Podgornoe	6,8	8,2	7,55	0,16	–	5,2
п. Шегарка Shegarka	6,8	7,0	2,15	0,09	18,3	5,5
п. Белый Яр Bely Yar	6,5	2,7	9,55	0,47	16,5	8,5
Средне-Нюрольское месторождение Mid-Nurol field	6,8	5,5	6,7	0,23	13,1	6,4
п. Могочино Mogochino	6,6	2,2	2,3	0,54	12,3	6,7
г. Кедровый Kedrovyy	6,7	4,3	5,5	0,11	12,8	7,8
Лугенецкое месторождение Luginetskoe field	6,5	3,7	4,5	0,12	11,2	6,5
с. Тунгусово Tungusovo	6,6	5,6	12,3	0,13	10,7	5,9
с. Володино Volodino	6,8	6,7	7,8	0,24	11,3	5,8
с. Молчаново Molchanovo	6,7	4,6	5,6	0,15	10,8	6,7
с. Сулзат Sulzat	6,9	3,8	4,6	0,11	11,8	6,9
п. Трубачево Trubachevo	6,4	2,9	3,9	0,09	12,3	7,3
с. Тахтамышево Takhtamyshevo	6,7	4,8	4,9	0,16	14,4	6,5
с. Варюхино Varyukhino	6,8	3,4	4,6	0,20	15,9	5,8
<b>ПДК по СанПиН 2.1.4.1074-01</b> MPS by the SanRaN 2.1.4.1074-01	<b>6,0–9,0</b>	<b>7,0</b>	<b>0,3</b>	<b>0,1</b>	<b>10,0</b>	<b>5,0</b>

которые взаимодействуют с гидроксидом железа (III), образуя коллоидные соединения, устойчивые к физико-химическим воздействиям, используемым в процессах водоподготовки.

В таблице представлены концентрации некоторых химических элементов в подземных водах Томской области, значения которых превышают нормативные значения для питьевой воды. Для различных контролируемых источников это значение изменяется от 10,8 до 19,7 мг/л.

Кремний в воде находится преимущественно в виде кремневой кислоты [6], которая поступает в воду в результате гидролиза алюмосиликатных пород по реакциям (1), (2). Углекислота, присут-

ствующая в подземных водах, концентрация которой может достигать значений 150–220 мг/л [7], значительно ускоряет этот процесс.



Ангидрид кремневой кислоты с водой может образовывать различные кислоты типа метакремниевой, ортокремниевой и поликремниевой [8]. Эти кислоты при обычных условиях для природных вод малорастворимы и способны взаимодействовать с соединениями железа и органическими веществами, образуя устойчивые коллоидные соединения [9].

Целью работы является установление последовательности формирования кремнийорганических коллоидных соединений в процессе водоподготовки.

#### Материалы и методы исследования

Для изучения механизма образования кремнийорганических соединений и получения количественных характеристик наиболее целесообразно проводить исследования на модельных растворах.

Для приготовления модельного раствора, содержащего кремнийорганические вещества, использовали реактивы  $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$  марки «ч.д.а.», дистиллированную воду и органические вещества гумусового происхождения, выделенные из торфяных болот Томской области. Концентрацию органических веществ оценивали по содержанию растворенного органического углерода – DOC (Dissolved Organic Carbon) с помощью анализатора общего органического углерода «Sievers 820». Содержание кремния в растворе определяли фотоколориметрически согласно РД 52.24.433–2005 с помощью прибора КФК-3 и плазменного оптического эмиссионного спектрометра ICP-OES фирмы Varian. Водородный показатель измеряли с использованием многофункционального аппарата WTW Multiline P4.

Распределение частиц по размерам определяли с помощью анализатора Delsa Max Pro (Beckman Coulter), позволяющего измерять размеры частиц в диапазоне 0,4–10000 нм. В анализаторе Delsa Max Pro используются методы фотонной корреляционной спектроскопии и электрофоретического светорассеяния для определения размеров частиц. Значения z $\zeta$ -потенциала в исследуемых модельных растворах исследовали на анализаторе Zetasizer Nano ZS (Malvern Instruments).

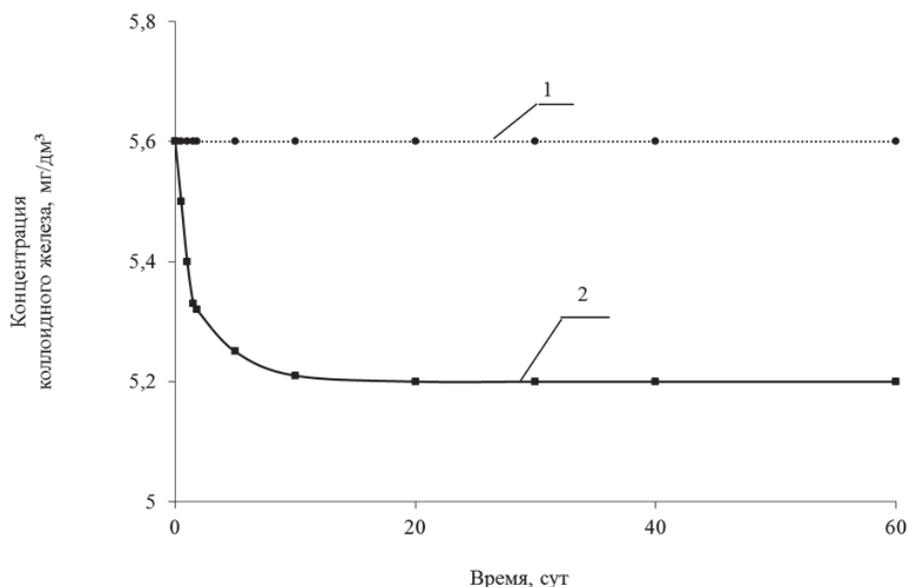
#### Результаты и их обсуждение

В исследуемых подземных водах концентрация ионов кремния и органических веществ варьируется в широких пределах [10–13]. Это обусловлено геологическим распространением перечисленных компонентов в подземных водах [14]. Кроме ионов кремния и органических веществ подземные воды Западной Сибири обогащены ионами железа, попадающими в воду в результате выщелачивания железистых минералов и пород.

Изучать свойства и механизм образования кремнийорганических веществ на реальной воде сложно ввиду нестабильности состава, поэтому для исследования использовали модельные растворы.

В процессе приготовления модельных растворов было установлено, что на его устойчивость влияет последовательность введения компонентов. Результаты представлены на рис. 1. Концентрация ионов железа, кремния и гумата натрия составляла 5,6, 20, 2,2 мг/л соответственно, pH раствора поддерживали равной 7,5.

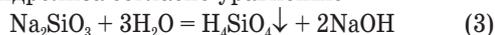
На рис. 1 видно, что при последовательном введении в раствор гумата натрия, метасиликата натрия, а затем сульфата железа (II) либо метасиликата натрия, гумата натрия и сульфата железа (II) все ионы железа переходят в коллоидное состояние и раствор устойчив в течение 60 дней. Растворы, приготовленные при иной последовательности введения реагентов, теряют устойчивость в течение 5 суток. Закономерность изменения свойств коллоидного раствора в зависимости от различной последовательности введения компонентов объясняется физико-химическими процессами, протекающими при растворении каждого компонента.



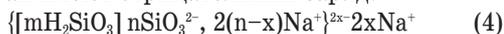
**Рис. 1.** Влияние последовательности введения компонентов на устойчивость модельного коллоидного раствора: 1 – гумат натрия – метасиликат натрия – сульфат железа (II); 2 – метасиликат натрия – гумат натрия – сульфат железа (II)

**Fig. 1.** Effect of the sequence of inclusion of the components on stability of the model colloid solution: 1 – sodium humate – sodium metasilicate – iron sulfate (II); 2 – sodium metasilicate – sodium humate – iron sulfate (II)

При растворении метасиликата натрия в воде происходит смещение pH в щелочную среду до значения, равного 10, что связано с протеканием реакции гидролиза согласно уравнению

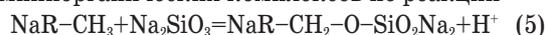


Известно [15], что при гидролизе щелочных метасиликатов возможно образование устойчивых золь кремниевой кислоты, которые в щелочных растворах имеют отрицательный заряд:



Измеренное значение дзета-потенциала составляет  $-21$  мВ.

Также установлено [16], что соединения кремния могут взаимодействовать с гуминовыми веществами. Далее происходит взаимодействие гумата натрия с соединениями кремния с образованием кремнийорганических комплексов по реакции



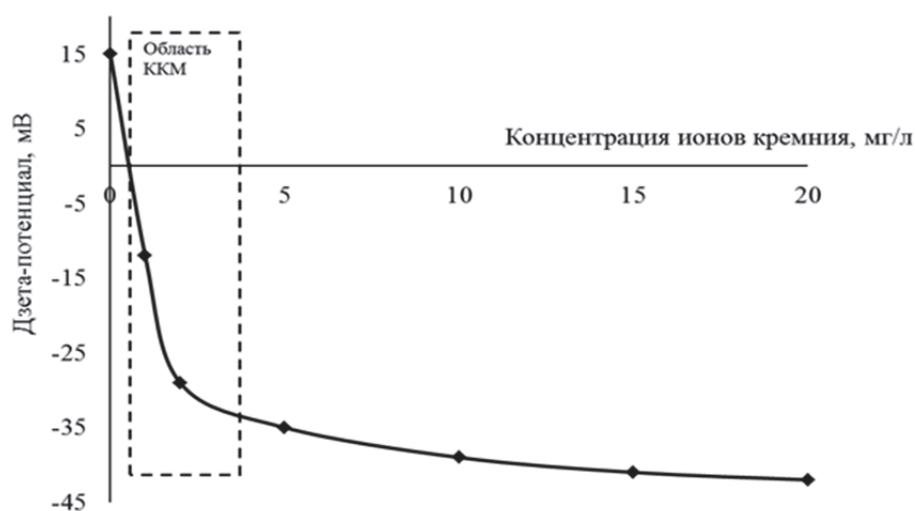
Образование кремнийорганических комплексов происходит в результате взаимодействия гумата натрия с раствором соли  $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ , что подтверждено термодинамическими расчетами. Значение энергии Гиббса ( $\Delta_r G^0$ ) для реакции (5) составляет  $-95,9$  кДж/моль.

Для исследования устойчивости кремнийорганических соединений была рассмотрена такая характеристика, как критическая концентрация мицеллообразования (ККМ) [17]. Методы определения ККМ, используемые в настоящее время, основаны на изменении физико-химических свойств коллоидных систем в области ККМ [18, 19]. Количественной характеристикой определения ККМ может служить электрохимический потенциал – дзета-потенциал [20]. В качестве исследуемой системы рассматривали раствор, содержащий  $5,6$  мг/л ионов железа (III) и  $2,2$  мг/л органических веществ, отражающих средние концентрации этих веществ в подземных водах. Определено

значение электрокинетического потенциала при увеличении концентрации ионов кремния от  $0,1$  до  $20$  мг/л. На рис. 2 представлены результаты исследований.

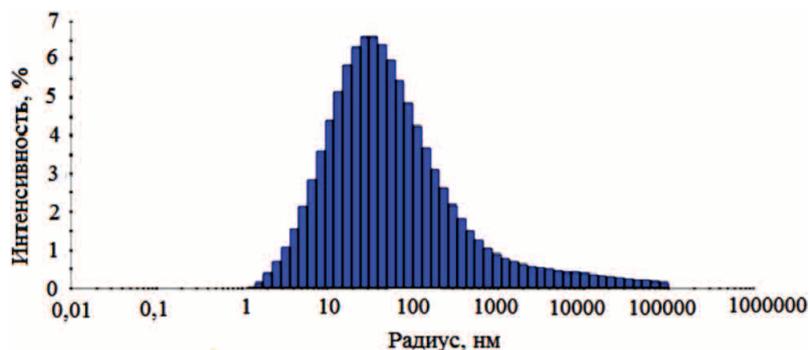
Как показано на рис. 2, резкое изменение дзета-потенциала наблюдается при концентрации кремния от  $1$  до  $3$  мг/л. Этот интервал является областью ККМ и определяет содержание ионов кремния, влияющих на образование устойчивой коллоидной системы, состоящей из гидроксида железа (III) и кремнийорганических комплексов. Изменение знака заряда дзета-потенциала свидетельствует о перезарядке коллоида гидроксида железа (III) кремнийорганическими комплексами путем образования на поверхности гидроксида железа (III) защитного слоя, состоящего из кремнийорганических комплексов. Определенное значение дзета-потенциала, равное  $-45$  мВ для коллоидной системы, состоящей из гидроксида железа (III) и кремнийорганических комплексов, свидетельствует об агрегативной устойчивости, так как согласно литературным данным [18] устойчивость коллоидной системы характеризуются значениями дзета-потенциала менее  $-20$  мВ или более  $+20$  мВ. Полученные результаты свидетельствуют об устойчивости гидроксида железа (III) к коагуляции.

Процесс образования кремнийорганических соединений в растворе, продемонстрирован экспериментом по смешению двух растворов, содержащих ионы кремния и гумата натрия, с одновременным определением размеров частиц. В начальный момент, когда протекает процесс диссоциации соли метасиликата натрия, в растворе не наблюдается образование коллоидных части во всем исследуемом диапазоне от  $1$  до  $10000$  нм. Далее, при добавлении раствора гумата натрия, по истечении  $2$  минут наблюдается образование частиц с максимумом распределения  $-50$  нм. Результаты представлены на рис. 3.



**Рис. 2.** Изменение дзета-потенциала в зависимости от концентрации кремния в растворе, содержащем  $5,6$  мг/л ионов железа и  $2,2$  мг/л органических веществ

**Fig. 2.** Change of the zeta potential depending on the concentration of silicon in a solution which contains  $5,6$  mg/l of iron ions and  $2,2$  mg/l of organic substances



**Рис. 3.** Кривая распределения частиц по размерам в растворе, содержащем соединения кремния и молекулы гумата натрия, через 2 минуты после смешения

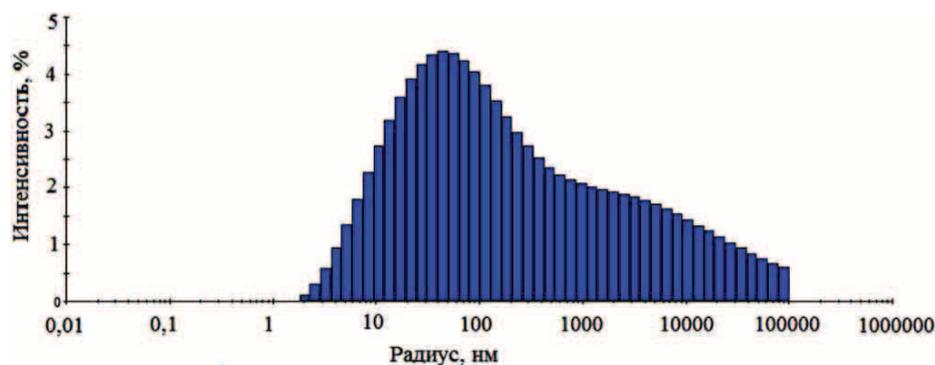
**Fig. 3.** Curve of particle size distribution in a solution containing silicon compounds and sodium humate molecules after 2 minutes of mixing

При увеличении времени контакта до 2 минут соединений кремния и молекул гумата натрия в растворе происходит укрупнение частиц. На рис. 4 показано смещение максимума распределения частиц в сторону больших размеров.

При увеличении времени контакта частиц до 12 минут максимум распределения смещается в сторону больших размеров и средний размер соответствует 70 нм. Предполагается, что укрупнение частиц происходит за счет образования кремнийорганических соединений вследствие химического взаимодействия и электростатического притяжения. Эксперименты по экстракции кремнийорганических соединений хлороформом показывают, что одновременно снижается концентрация ионов кремния и органических веществ в растворе, что объясняется химическим взаимодействием соединений кремния и органических веществ. Изменение дзета-потенциала свидетельствует об их электростатическом взаимодействии. После 12 минут происходит следующее распределение частиц по размерам: количество частиц в диапазоне 1–100 нм составляет 32 %, а с размером от 100 до 100000 нм – 68 %. Дальнейшее увеличение времени контакта до 30 минут не приводит к смещению максимума, согласно рис. 5, но приводит к увеличению процентного содержания крупных частиц.

Распределение частиц по размерам, представленных на рис. 5, показало, что количество частиц с размерами от 1 до 100 нм составляет 18 %, а от 100 до 100000 нм – около 80 %. После 30 минут укрупнение частиц не наблюдалось, что свидетельствует о наступлении состояния равновесия системы.

Для системы, состоящей из кремнийорганических соединений, было определено значение дзета-потенциала, которое составило  $-55$  мВ. Полученное значение характеризует устойчивость кремнийорганических соединений. Присутствие в растворе ионов железа, особенно в виде нерастворимого гидроксида железа (III), способствует образованию устойчивой коллоидной системы. Кремнийорганические соединения образуют на поверхности нерастворимого гидроксида железа (III) защитный слой, что препятствует протеканию коагуляционных процессов. Это было подтверждено экспериментами по экстракции органических веществ хлороформом по методике [21]. При экстракции органических веществ одновременно снижается концентрация ионов кремния и железа в растворе, что свидетельствует о связи кремнийорганических соединений с гидроксидом железа (III). Последовательность взаимодействия ионов кремния с гуминовыми веществами, а затем с малорастворимым



**Рис. 4.** Кривая распределения частиц по размерам в растворе, содержащем соединения кремния и молекулы гумата натрия, через 12 минут

**Fig. 4.** Curve of particle size distribution in a solution containing silicon compounds and sodium humate molecules after 12 minutes

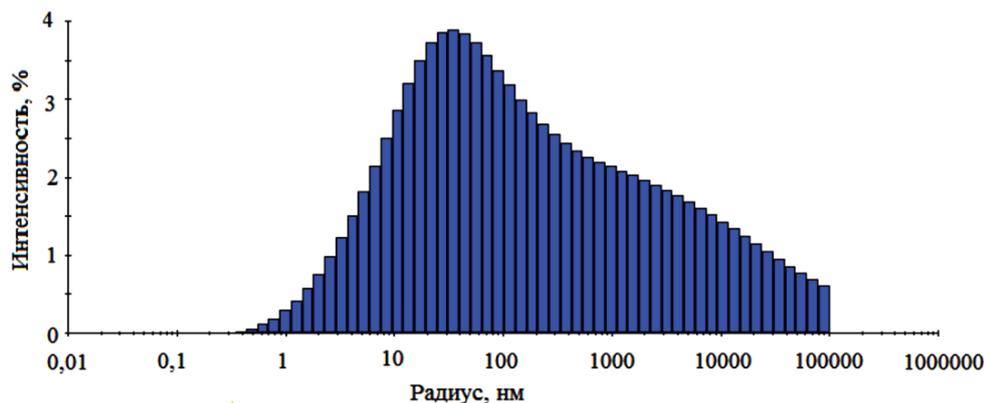


Рис. 5. Кривая распределения частиц по размерам в растворе, содержащем соединения кремния и молекулы гумата натрия, через 30 минут

Fig. 5. Curve of particle size distribution in a solution containing silicon compounds and sodium humate molecules after 30 minutes

гидроксидом железа, установленная в процессе приготовления модельных растворов, вероятно, реализуется и в процессах водоподготовки, что необходимо учитывать при выборе технологических схем получения чистой питьевой воды.

#### Заключение

В результате проведенных исследований установлена последовательность формирования устойчивой коллоидной системы, состоящей из кремнийорганических веществ: гидролиз метасиликатов с образованием золя кремниевой кислоты и взаимо-

действие с гуминовыми веществами с образованием кремнийорганических соединений. Рассчитано значение энергии Гиббса ( $\Delta_r G^\theta$ ) для второй стадии ( $-95,9$  кДж/моль). Определены дзета-потенциал частиц коллоидного размера ( $-55$  мВ) и размер частиц, максимум распределения которых составляет  $70$  нм. Показано, что неспособность к коагуляции гидроксида железа (III) в процессе аэрации подземных вод обусловлена образованием на его поверхности кремнийорганических соединений.

Работа выполнена по теме 7.1504.2015.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федотов Р.В. Технология обескремнивания природных вод фильтрованием через модифицированную загрузку: дис. ... канд. тех. наук. – Новочеркасск, 2013 – 136 с.
2. Aitken G.R., Hsu-Kim H., Ryan J.N. Influence of dissolved organic matter on the environmental fate of metals, nanoparticles, and colloids // Environ. Sci. Technology. – 2011. – P. 3196–3201.
3. Сомов М.А. Водоснабжение. – М: Инфра-М, 2007. – 287 с.
4. СанПиН 2.1.4.1074–01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем водоснабжения. Контроль качества. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. – М.: Федеральный центр Госсанэпиднадзора Минздрава России, 2002. – 103 с.
5. Мачехина К.И., Шиян Л.Н., Тропина Е.А. Устойчивость коллоидов железа в природных водах // Журнал прикладной химии. – 2012. – Т. 85. – № 7. – С. 1182–1185.
6. Рябчиков Б.Е. Современная водоподготовка. – М.: ДеЛи плюс, 2013. – 680 с.
7. Крайнов С.Р., Рыженко Б.Н., Швец В.М. Геохимия подземных вод. Теоретические, прикладные и экологические аспекты. – М.: ЦентрЛитНефтеГаз, 2012. – 671 с.
8. Шварцев С.Л. Общая гидрогеохимия – М.: Альянс, 2012. – 601 с.
9. Мачехина К.И. Процесс очистки подземных вод от коллоидных соединений железа и его аппаратное оформление: дис. ... канд. тех. наук. – Томск, 2013. – 121 с.
10. Цветность подземных вод Западно-Сибирского региона / Л.В. Сериков, Л.Н. Шиян, Е.А. Тропина, П.А. Хряпов // Известия Томского политехнического университета. – 2009. – Т. 314. – № 3. – С. 54–58.
11. Войно Д.А., Шиян Л.Н., Мачехина К.И. Комплексный подход получения питьевой воды из подземных источников Западной Сибири // Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология. – 2015. – Т. 58. – № 3. – С. 82–86.
12. Тропина Е.А. Аппаратурно-технологическая система получения питьевой воды из подземных источников Западно-Сибирского региона: автореф. дис. ... канд. тех. наук. – Томск, 2007. – 20 с.
13. Iron oxidation in different types of groundwater of Western Siberia / L.V. Serikov, E.A. Tropina, L.N. Shiyana, F.H. Frimmel, G. Metreveli, M. Delay // Journal for Soils and Sediments. – 2009. – № 2. – P. 103–110.
14. Видяйкина Н.В. Обеспечение экологической безопасности при использовании сельским населением подземных вод для питьевых целей на примере Томской области и Ханты-Мансийского автономного округа: дис. ... канд. геолого-мин. наук. – Томск, 2010. – 153 с.
15. Colloid and surface chemistry / E.D. Shchukin, A.V. Pertsov, E.A. Amelina, A.S. Zelenev. – Amsterdam: Elsevier Science B.V., 2001. – 734 p.
16. Molecular weight characteristics of humic substances from different environments as determined by size exclusion chromatography and their statistical evaluation / I.V. Perminova, F.H. Frimmel, A.V. Kudryavtsev, N.A. Kulikova, G. Abbt-Braun, S. Hesse, V.S. Petrosyan // Environ. Sci. Technol. – 2003. – № 37. – P. 2477–2485.
17. Белик В.В. Физическая и коллоидная химия. – М.: Академия, 2005. – 287 с.
18. Жуков Б.Д. Коллоидная химия. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2006. – 384 с.
19. Сумм Б.Д. Коллоидная химия. – М.: Академия, 2013. – 240 с.
20. Щукин Е.Д. Коллоидная химия. – М.: Юрайт, 2013. – 444 с.
21. Способ определения железа в воде: пат. Рос. Федерация № 2216019; заявл. 06.08.2002; опубл. 10.11.2003, Бюл. № 31. – 3 с.

Поступила 27.11.2015 г.

UDC 542.06; 544.77, 537.52

**FORMATION OF ORGANOSILICON COMPOUNDS IN WATER PURIFICATION PROCESSES****Larisa A. Kostikova,**National Research Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin Avenue, Tomsk,  
634050, Russia. E-mail: lak@tpu.ru**Lyudmila N. Shiyan,**National Research Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin Avenue, Tomsk,  
634050, Russia. E-mail: lshiyan@rambler.ru**Ksenia I. Machekhina,**National Research Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin Avenue, Tomsk,  
634050, Russia. E-mail: mauthksu@yandex.ru**Nikolay B. Egorov,**National Research Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin Avenue, Tomsk,  
634050, Russia. E-mail: egorov@tpu.ru

The study of the problem of removal of silicon ions of groundwater in water treatment processes and the ability of silicon ions to participate in the formation of silicon compounds that are resistant to physical and chemical effects is an urgent task, has practical significance for purification technologies developers.

**The aim of the research** is the study of the formation mechanism of colloid organosilicon compounds in the water treatment process.

**Methods:** photocolorimetry, pH measurement, titrometry, optical methods.

**Results.** The authors investigated that the silicon ions have effect on the formation of colloidal organosilicon compounds of iron compounds whose presence in the groundwater reduces the performance of water treatment plants. It is shown that the silicon ions react with the organic substances of the humus origin to form stable colloidal compounds. The authors also defined the molar ratio of silicon ions and humic substances (critical micelle concentration) at which colloidal compounds are formed. The resulting molar ratio of silicon ions and humic substances is 7:2 respectively. We proposed a scheme for the formation of the sol and silicon compounds and defined the zeta potential which is  $-21$  mV. We also demonstrated the formation of organosilicon compounds in the solution by mixing 2 solutions containing silicon ions and sodium humate with simultaneous determination of particle size. The maximum particle distribution changes within 30 minutes in the range of 50 to 70 nm during the formation of the organosilicon colloidal compounds. At the same time there is a coarsening of the particles, the percentage of particles with sizes ranging from 100 to 100,000 nm varies from 68 to 80 %.

**Key words:**

Silicon compounds, particle size, organosilicon compounds, natural water, water purification.

The subject of the research is 7.1504.2015.

**REFERENCES**

1. Fedotov R.V. *Tekhnologiya obeskremlivaniya prirodnykh vod filtriruyemykh cherez modifitsirovannuyu zagruzku*. Dis. Kand. nauk [Technology of desilication of natural water by means of filtration through a modified charge. Cand. Diss.]. Novocherkassk, 2013. 136 p.
2. Aitken G.R., Hsu-Kim H., Ryan J.N. Influence of dissolved organic matter on the environmental fate of metals, nanoparticles, and colloids. *Environ. Science Technology*, 2011, no. 45 (8), pp. 3196–3201.
3. Somov M.A. *Vodosnabzhenie* [Water supply]. Moscow, Infra-M Publ., 2007. 287 p.
4. SanPiN 2.1.4.1074–01. *Pitevaya voda. Gigienicheskie trebovaniya k kachestvu vody tsentralizovannykh sistem vodosnabzheniya. Kontrol kachestva. Sanitarno-epidemiologicheskie pravila i normativy* [Drinking water. Hygienic requirements for water quality of centralized water supply systems. Quality control. The sanitary and epidemiological rules and norms]. Moscow, Federal Centre for Sanitary Inspection Ministry of Health of Russia Publ., 2002. 103 p.
5. Machekhina K.I., Shiyan L.N., Tropina E.A. Ustoychivost kolloidov zheleza v prirodnykh vodakh [Stability of iron colloids in natural waters]. *Russian Journal of Applied Chemistry*, 2012, vol. 85, no. 7, pp. 1182–1185.
6. Ryabchikov B.E. *Sovremennaya vodopodgotovka* [Modern water treatment]. Moscow, DeLi Plus Publ., 2013. 680 p.
7. Kraynov S.R., Ryzhenko B.N., Shvets V.M. *Geokhimiya podzemnykh vod. Teoreticheskie, prikladnye i ekologicheskie aspekty* [Geochemistry of groundwater. Theoretical, applied and environmental aspects]. Moscow, TsentrLitNefteGaz Publ., 2012. 671 p.
8. Shvartsev S.L. *Obshchaya gidrogeokhimiya* [General hydrogeochemistry]. Moscow, Alyans Publ., 2012. 601 p.
9. Machekhina K.I. *Protseess ochistki podzemnykh vod ot kolloidnykh soedineniy zheleza i ego apparaturnoe oformlenie*. Avtoref. Dis. Kand. nauk [Groundwater purification from iron colloidal substances and its hardware design. Author's abstract Cand. Diss.]. Tomsk, 2013. 121 p.
10. Serikov L.V., Shiyan L.N., Tropina E.A., Khryapov P.A. Tsvetnost podzemnykh vod Zapadno-Sibirskogo regiona [Color of groundwater of Western Siberia]. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2009, vol. 314, no. 3, pp. 54–58.
11. Voyno D.A., Shiyan L.N., Machekhina K.I. Kompleksnyy podkhod polucheniya pitevoy vody iz podzemnykh istochnikov Zapadnoy Sibiri [Integrated approach to obtaining drinking water from underground sources of Western Siberia]. *News of Higher*

- Schools. Chemistry and Chemical Engineering*, 2015, vol. 58, no. 3, pp. 82–86.
12. Tropina E.A. *Apparaturno-tehnologicheskaya sistema polucheniya pitevoy vody iz podzemnykh istochnikov Zapadno-Sibirskogo regiona*. Avtoref. Dis. Kand. nauk [Hardware and technological scheme of production of drinking water from underground sources of West Siberian region. Author's abstract Cand. Diss.]. Tomsk, 2007. 20 p.
  13. Serikov L.V., Tropina E.A., Shiyan L.N., Frimmel F.H., Metreveli G., Delay M. Iron oxidation in different types of groundwater of Western Siberia. *Journal for Soils and Sediments*, 2009, no. 2, pp. 103–110.
  14. Vidyaykina N.V. *Obespechenie ekologicheskoy bezopasnosti pri ispolzovanii selskim naseleniem podzemnykh vod dlya pitevykh tseley na primere Tomskoy oblasti i Khanty-Mansiyskogo avtonomnogo okruga*. Dis. Kand. nauk [Ensuring environmental safety in the use of the rural population of groundwater for drinking purposes by the example of the Tomsk region and the Khanty-Mansi Autonomous Okrug. Cand. Diss.]. Tomsk, 2010. 153 p.
  15. Shchukin E.D., Pertsov A.V., Amelina E.A., Zelenev A.S. *Colloid and surface chemistry*. Amsterdam, Elsevier Science B.V. Publ., 2001. 734 p.
  16. Perminova I.V., Frimmel F.H., Kudryavtsev A.V., Kulikova N.A., Abbt-Braun G., Hesse S., Petrosyan V.S. Molecular weight characteristics of humic substances from different environments as determined by size exclusion chromatography and their statistical evaluation. *Environ. Sci. Technol.*, 2003, no. 37, pp. 2477–2485.
  17. Belik V.V. *Fizicheskaya i kolloidnaya khimiya* [Physical and colloid chemistry]. Moscow, Academy Publ., 2005. 287 p.
  18. Zhukov B.D. *Kolloidnaya khimiya* [Colloid chemistry]. Novosibirsk, NSTU Press, 2006. 384 p.
  19. Summ B.D. *Kolloidnaya khimiya* [Colloid chemistry]. Moscow, Academy Publ., 2013. 240 p.
  20. Shchukin E.D. *Kolloidnaya khimiya* [Colloid chemistry]. Moscow, Urayt Publ., 2013. 444 p.
  21. Serikov L.V., Shiyan L.N., Tropina E.A. *Sposob opredeleniya zheleza v vode* [A method for determination of iron in water]. Patent RF, no. 2216019, 2003.

Received: 27 November 2015.