



## ХИМИЯ

УДК 543.54544.72.553.611.6

### КИНЕТИКА И ЭФФЕКТИВНОСТЬ СОРБЦИИ ИОНОВ МЕДИ ИЗ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ СОРБЕНТАМИ РАЗЛИЧНОЙ ХИМИЧЕСКОЙ ПРИРОДЫ KINETICS AND SORPTION EFFICIENCY THE COPPER IONS FROM AQUEOUS SOLUTIONS BY THE DIFFERENT CHEMICAL NATURE SORBENTS

**Л.Ф. Голдовская-Перистая, А.И. Везенцев, В.А. Перистый,  
Е.В. Добродомова-Копылова**  
**L.F. Goldovskaya-Peristaya, A.I. Vezentsev, V.A. Peristiy,  
E.V. Dobrodomova-Kopylova**

*Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Россия, 308015, Белгород,  
ул. Победы, 85*

*Belgorod State National Research University, 85 Pobedy St, Belgorod, 308015, Russia*

*E-mail: peristaya@bsu.edu.ru; vesentsev@bsu.edu.ru*

**Аннотация.** Представлены результаты исследования четырех образцов монтмориллонит содержащих глины Белгородской области, древесного и активированного углей в качестве сорбентов для очистки воды от ионов меди (II). Древесный уголь получали при нагревании березовых опилок без доступа воздуха при температуре 400–450°C. Сорбцию проводили в статических условиях из водного раствора с концентрацией ионов меди 5 мг/л. Определение концентраций ионов Cu(II) в модельных растворах осуществляли фотометрическим методом. Содержание монтмориллонита определяли методом адсорбционного люминесцентного анализа. Установлено, что практически все исследованные сорбенты позволяют снижать содержание меди в растворе ниже 1 мг/л. Более высокая степень очистки воды (96–97 масс.%) достигнута с помощью глины Сергиевского месторождения и Протопоповского проявления. Скорость сорбции также максимальна этими сорбентами. Указанные глины могут служить альтернативой древесному и дорогостоящему активированному углю, при использовании которых эффективность очистки воды при соотношениях сорбат : сорбент = 0.000083:1 80% и 84%, соответственно.

**Resumé.** The results of the investigation of the montmorillonite containing clays collected from four deposits of Belgorod region, char and active coals as sorbents used for the water purification from the copper (II) ions are described in the present article. The charcoal was obtained by heating the birch wood dust without an access for air at a temperature of 400–450°C. Sorption was carried out at static conditions from the water solution with the concentration of the copper (II) ions equal to 5 mg/L. Determination of the copper (II) ions in the standard test solution was carried out using photometric method. The content of the montmorillonite was determined with the help of adsorptive-luminous analysis technique. It was found that substantially all the tested sorbents enabled to reduce the content of the copper in the solution below 1 mg/L. Higher water purification rate (96–97 percent) was achieved using the clays of Sergievsky deposits and Protopopovsky fields. Sorption rate was also as high as possible with the use of these types of sorbents. Above-noted clays can be used as an alternative to charcoal and expensive active coal. The efficiency of water purification using these clays at the ratio sorbat : sorbent = 0.000083:1 80 and 84 percent, respectively.

**Ключевые слова:** сорбция, ионы меди, глина, уголь.

**Key words:** sorption, copper ions, clay, coal.

### Введение

Сорбция широко применяется как один из физико-химических методов очистки водных сред от различных поллютантов.



Весьма распространенными и опасными загрязнителями гидросферы являются тяжелые металлы (ТМ), к которым относятся более 40 химических элементов с относительными атомными массами выше 50. Тяжелыми металлами являются хром, марганец, железо, кобальт, никель, медь, цинк, галлий, германий и др. Металлизация биосферы и гидросферы, в частности, является одной из важнейших экологических проблем [Фелленберг и др., 1997; Лозановская и др., 1998].

К числу тяжелых металлов, как было показано выше, относится и медь. Загрязнение биосферы медью происходит не только при добыче руды, ее обогащении, выплавке металла и сплавов, но и из других источников. Медь вносят в почву с микроудобрениями. Из солей меди вырабатывают большое число разнообразных минеральных пигментов. В больших концентрациях растворимые соли меди токсичны. Некоторые из них применяются в сельском хозяйстве в качестве ядохимикатов для борьбы с вредителями и болезнями растений (медный купорос, «парижская зелень», «бордоская жидкость» и др.) [Голдовская, 2008].

С одной стороны, медь является необходимым микроэлементом растительных и животных организмов. Но с другой стороны, ее избыток отрицательно сказывается на состоянии живых тел, в том числе и человека.

Исследование атмосферных осадков в районе предприятий стройиндустрии г. Белгорода (в северо-восточной и западной части города) позволило установить присутствие многих металлов в составе аэрозольных частиц, осаждаемых дождем, в том числе и меди [Goldovskaya et al., 1998]. Медь в разных количествах обнаружена во многих водоемах Белгородской области: Белгородском водохранилище, реках Северский Донец, Везелка, Нежеголь и др. водных объектах. В Белгородском водохранилище содержание меди составляло: в 1996 году 0.001–0.003 мг/л, в 1997 году произошло увеличение ее содержания в 10 раз, а в сточных водах городских очистных сооружений, поступающих в водохранилище, – в 20 раз, и содержание меди составило 0.03–0.06 мг/л, соответственно [Голдовская и др., 1998]. Это значительно меньше предельно допустимой концентрации (1 мг/л) для водных объектов культурно-бытового водопользования [ГН 2.1.5.1315-03], однако превышает ПДК (0.001 мг/л) для водных объектов рыбохозяйственного водопользования (РХВ) в 6–12 раз [Федеральное агентство по рыболовству, 2010]. Увеличение концентрации меди особенно опасно на фоне высокого содержания цинка (0.05–0.10 мг/л), что выше ПДК (0.01 мг/л) для водоемов РХВ в 5–10 раз. Смесь меди и цинка обладает синергизмом.

Содержание меди в реке Везелка также превысило ПДК для водных объектов РХВ [Борзых, Голдовская, 2000]. В реке Нежеголь в 2000 году медь обнаружена не была [Голдовская и др., 2000], однако содержание меди в 2010 году в речной воде составило 0.12 мг/л, что выше ПДК для водных объектов РХВ в 24 раза [Перистая и др., 2011]. Результаты определения тяжелых металлов в реке Северский Донец ранее не были опубликованы, впервые приводятся в данной статье. Нами установлено, что медь в речной воде присутствует в количестве 0.016 мг/л, что превышает ПДК для водных объектов РХВ более чем в 3 раза.

В сточных водах различных отраслей промышленности содержание меди значительно выше, чем в поверхностных природных водах, и составляет несколько мг/л [Отдел научно-технической информации АКХ, 1989]. Для очистки и обезвреживания сточных вод, содержащих тяжелые металлы, используются различные методы: механические (процеживание, отстаивание – гравитационное и центробежное, фильтрование); химические (нейтрализация и окисление); физико-химические (реагентный, сорбционный, ионообменный, электрохимические, обратный осмос, гальванокоагуляция, экстракция); биологические (осуществляемые сообществом микроорганизмов) [Долина, 2008]. Но остается актуальным вопрос о совершенствовании существующих и разработки новых методов очистки природных и сточных вод от меди.

В последние годы проводятся исследования, направленные на очистку воды от соединений тяжелых металлов с использованием не только традиционных, хорошо известных сорбентов, таких как активные угли, но и доступных природных матери-



алов – минеральных алюмосиликатных адсорбентов (глины, цеолитсодержащие породы и т. д.) [Смоленская и др., 2004; Бондаренко и др., 2008; Вигдорович и др., 2010, 2011; Везенцев и др., 2015]. Представляемая работа является продолжением ранее проведенных нами исследований в данной области [Везенцев и др., 2006а, 2007, 2008; Vezentsev et al., 2014a].

Целью настоящей работы является изучение кинетических закономерностей и эффективности сорбции ионов меди – Cu (II) из водной среды сорбентами различной химической природы: монтмориллонит содержащими глинами и углями. Выбор глин обусловлен, во-первых, тем, что они являются эффективными сорбентами тяжелых металлов, как показали предыдущие исследования, во-вторых, глинистые породы широко распространены на территории Белгородской области. Для сравнения были проведены исследования сорбционной способности древесного и активированного угля по отношению к ионам меди.

### Материалы и методы исследования

В качестве сорбентов ионов меди (II) использовали:

- 1) природные монтмориллонит содержащие глины месторождений Поляна и Сергеевка и проявлений Купино и Протопоповка Белгородской области;
- 2) уголь древесный и активированный.

По терминологии, принятой в геологии, рудопоявление (проявление) – обычно небольшое природное скопление минерального вещества, которое почти удовлетворяет по качеству кондиционным требованиям, но в количественном отношении не может считаться предметом разработки в данных экономических условиях. При увеличении его запасов – в итоге дальнейшей разведки или при снижении кондиционных требований – может перейти в категорию месторождений [Паффенгольц и др., 1978].

Бентониты приурочены к отложениям киевской свиты, сложенной глинами, мергелями и глинистыми алевритами, которые залегают на небольшой глубине (0–15 м). Способные к интенсивному ионному обмену глинистые минералы группы монтмориллонита представляют собой слоистые алюмосиликаты структурного типа 2:1 с разбухающей кристаллической решеткой, толщиной элементарных пакетов (межплоскостное расстояние перпендикулярное плоскости спайности) 0.94–1.45 нм [Везенцев и др., 2004].

В качестве угольных сорбентов в данной работе использовали древесный уголь, полученный из березовых опилок, и лекарственный активированный уголь (*Tabulettae Carbonis activati*) в таблетках российского производства (синоним – Карболен).

Сущность метода получения древесного угля в наших экспериментах заключается в следующем: березовые опилки помещают в колбу из кварцевого стекла и нагревают без доступа кислорода до температуры 400–450°C, за этим следует изотермическая выдержка в течение 2 часов. При этом образующиеся летучие продукты разложения древесины отводят в систему конденсации и при охлаждении они конденсируются в смолообразные продукты и водный дистиллят. Несконденсированные газы сжигают. После естественного охлаждения до комнатной температуры полученный древесный уголь представлял собой легкую пористую порошокобразную массу темного цвета.

При постановке эксперимента по изучению сорбционной способности важно выявить зависимости, связывающие основные параметры процесса: концентрацию сорбата, дозу сорбента, т. е. соотношение сорбат : сорбент, продолжительность их контакта. Комплексный анализ сорбентов для выявления их практической пригодности для очистки воды включает определение кинетики процесса и сорбционной емкости.

Сорбцию ионов меди (II) на глине и углях проводили в статических условиях при постоянной температуре (20°C) из модельного раствора пентагидрата сульфата меди (II) с концентрацией ионов  $Cu^{2+}$  5 мг/л. Сорбент брали в количестве 3 г на 50 мл раствора. Массовое соотношение сорбата Cu(II) к сорбенту составляло 0.000083:1.

Процесс сорбции осуществляли в течение 15, 30, 45, 60, 75, 90 минут (ставили 6 параллельных опытов).

Определение концентрации ионов меди в фильтратах проводили по стандартной методике с использованием фотоколориметра КФК-3-01, спектрофотометра SPECORD 50.

Определение меди основано на взаимодействии ее ионов  $Cu(II)$  с диэтилдитиокарбаматом натрия в слабоаммиачном растворе с образованием диэтилдитиокарбамата меди, окрашенного в желто-коричневый цвет [ГОСТ 4388-72].

По результатам измерения концентрации ионов меди в указанные промежутки времени строили кинетические кривые.

Содержание монтмориллонита определяли методом адсорбционного люминесцентного анализа, основанного на катионообменной адсорбции глиной органических красителей – люминофоров с образованием коагулята органоглинистого комплекса.

### Результаты и их обсуждение

Результаты исследования сорбционной способности образцов глины по отношению к ионам  $Cu(II)$  представлены на рисунке 1.

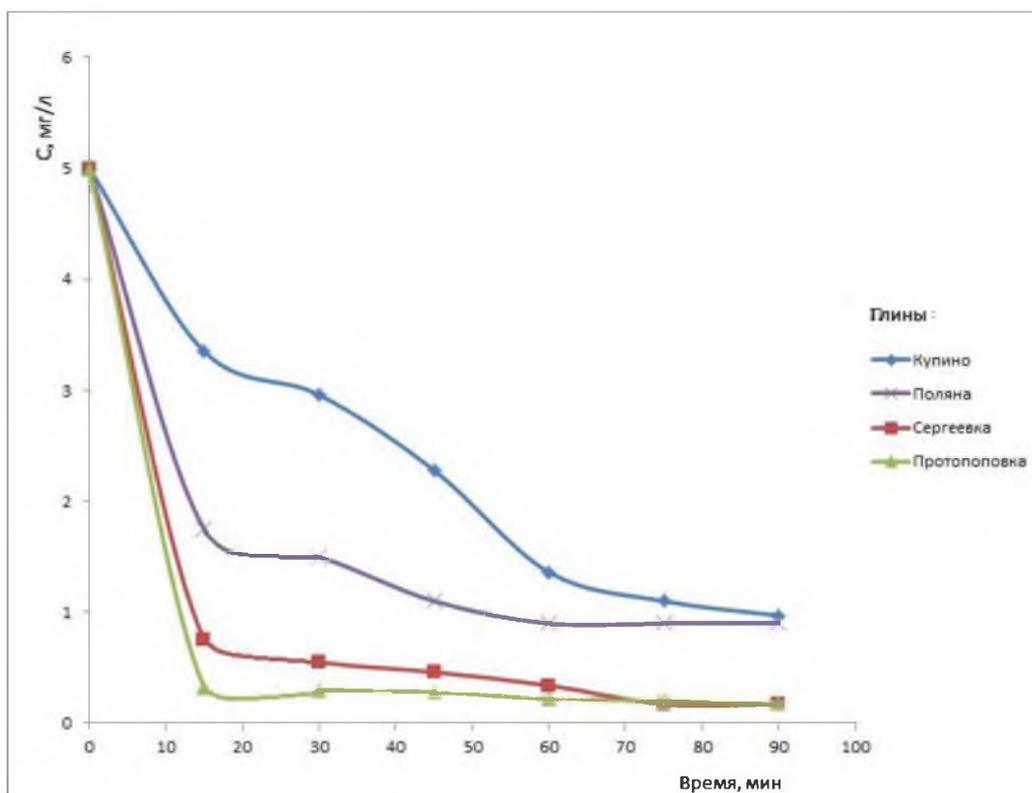


Рис. 1. Кинетическая зависимость снижения концентрации ионов  $Cu(II)$  в водных растворах в результате сорбции глинами

Fig. 1. Kinetic dependence of copper (II) concentration decrease in the aqueous solutions as a result of the sorption by clays

Анализ кинетических кривых, представленных на рисунке 1, позволяет отметить, что купинская глина в течение 1.5 часа снижает концентрацию ионов меди в растворе с 5 мг/л до 0.97 мг/л. Дальнейшее снижение концентрации не наблюдается, достигается сорбционное равновесие. За указанное время экспозиции купинская глина позволяет снижать концентрацию ионов меди в 5.1 раза.

При использовании глины месторождения «Поляна» основное поглощение ионов меди наблюдается в первые 45 минут: их концентрация снижается с 5 мг/л до 1.1 мг/л. По истечении часа устанавливается сорбционное равновесие, и концентрация

ионов меди, достигнув значения 0.9 мг/л, перестает изменяться. В целом, за 1.5 часа концентрация ионов меди уменьшается в 5.5 раза.

Испытание глины Сергиевского месторождения в качестве сорбента ионов меди позволяет значительно снижать их концентрацию. Уже за первые 15 минут происходит уменьшение концентрации с 5 мг/л до 0.75 мг/л, то есть в 6.7 раза. Затем скорость очистки воды уменьшается, и через 1.5 часа концентрация ионов  $Cu^{2+}$  перестает изменяться, достигнув значения 0.17 мг/л. Таким образом, за указанное время сорбции концентрация ионов меди уменьшается в 29.4 раза.

Протопоповская глина резко снижает концентрация ионов меди в первые 15 минут: с 5 мг/л до 0.32 мг/л, то есть в 15.6 раза. В дальнейшем концентрация ионов меди снижается медленнее и через 1.5 часа она составляет 0.18 мг/л. В целом, указанная глина позволяет снижать концентрацию ионов меди в 27.8 раза.

Анализ кинетических кривых сорбции ионов  $Cu(II)$  на различных глинах (см. рис. 1) позволяет отметить, что скорость сорбции максимальна на начальной стадии. Сорбционное равновесие достигается за 75–90 минут, но основная очистка воды от ионов меди осуществляется в первые 15 минут. Особенно велика начальная скорость сорбции на протопоповской глине (0.312 мг/л·мин). За 15 минут эффективность очистки воды от ионов меди на этой глине составила 93.6%. Наименьшая начальная скорость сорбции отмечается на купинской глине (0.110 мг/л·мин). Большая скорость сорбции в первые 15 минут связана с притяжением катионов меди из раствора к отрицательно заряженной поверхности глинистых минералов.

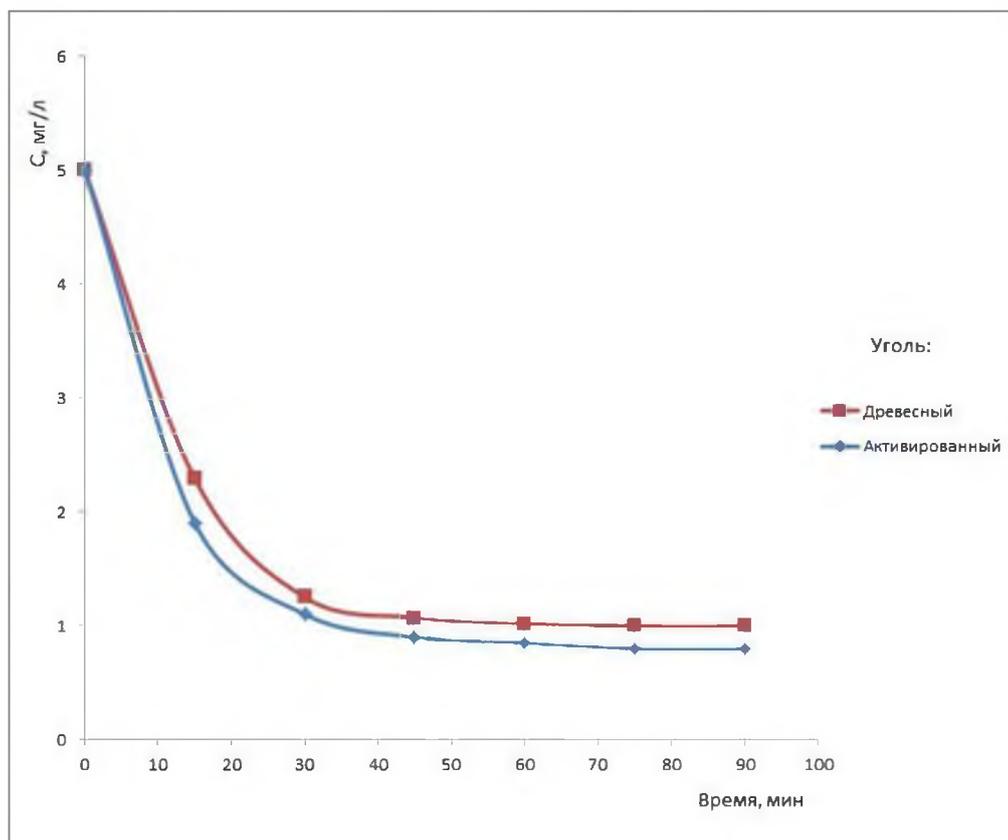


Рис. 2. Кинетическая зависимость снижения концентрации ионов меди (II) в водных растворах в результате сорбции углем

Fig. 2. Kinetic dependence of the copper (II) ions concentration decrease in the aqueous solutions as a result of the sorption by coals

Анализ кинетических кривых сорбции ионов меди древесным и активированным углем, представленных на рисунке 2, показывает, что сорбция ионов



меди наиболее интенсивно осуществляется в первые 15 минут процесса. За это время древесный уголь позволяет снижать концентрацию ионов  $Cu^{2+}$  с 5 мг/л до 2.33 мг/л, то есть в 2.2 раза. За аналогичный промежуток времени активированный уголь снижает концентрацию ионов меди в 2.7 раза (с 5 мг/л до 1.87 мг/л). В дальнейшем концентрация ионов  $Cu^{2+}$  снижается медленнее и через 1.5 часа она составляет для древесного угля – 1 мг/л, а для активированного угля – 0.8 мг/л. В целом, древесный уголь снижает концентрацию ионов меди в растворе в 5 раз, а активированный уголь – в 6.3 раза. Активация угля водяным паром, как известно, повышает его сорбционную способность.

Сравнение результатов исследования, представленных на кинетических кривых (см. рис. 1 и 2) позволяет отметить, что древесный уголь и глина проявления «Купино» практически в одинаковое число раз уменьшают концентрацию ионов меди до наступления сорбционного равновесия. Использование же активированного угля для очистки воды от ионов меди по кинетике процесса можно считать более целесообразным сорбентом, по сравнению с глиной месторождения «Поляна». Несомненно, глины месторождения «Сергеевка» и проявления «Протопоповка» и по этому показателю превосходят все остальные испытанные сорбенты.

В таблице указаны сорбционные характеристики исследованных сорбентов по отношению к ионам  $Cu(II)$ .

Таблица

Сравнительные характеристики сорбентов при очистке воды от ионов  $Cu^{2+}$

Table

Comparative characteristics of the sorbents during water purification from the  $Cu^{2+}$  ions

Сорбент	$U_{нач.}$		$U_{сред.}$		Сорбционная емкость, мг/г
	мг/л·мин	моль / л·мин	мг / л·мин	моль / л·мин	
Глина месторождений:					
Поляна	0.217	0.00341	0.0455	0.000716	0.068
Сергеевка	0.283	0.00446	0.0537	0.000845	0.081
Глина проявлений:					
Купино	0.110	0.00173	0.0448	0.000705	0.067
Протопоповка	0.312	0.00491	0.0536	0.000843	0.080
Уголь:					
древесный	0.181	0.00285	0.0466	0.000729	0.070
активированный	0.207	0.00325	0.0477	0.000747	0.072

Примечание:  $U_{нач.}$  – средняя скорость на начальной стадии (15 минут);  $U_{сред.}$  – средняя скорость сорбции за весь период наблюдения (90 минут).

Результаты, представленные в таблице, показывают, что значения средней скорости на начальной стадии (15 мин) довольно значительно отличаются для разных сорбентов. С наименьшей скоростью происходит сорбция на купинской глине, на полянской глине – скорость в 2 раза выше, а на протопоповской – почти в 3 раза. По значению начальной скорости сергиевская глина немного уступает протопоповской.

Активация угля незначительно увеличивает начальную скорость процесса сорбции (с 0.18 до 0.21 мг/л·мин). С позиций кинетики процесса использование угля, как активированного, так и древесного, имеет преимущество перед купинской глиной, но уступает всем остальным образцам глины. По этому показателю применение активированного угля практически равнозначно использованию полянской глины.

В отличие от начальной скорости, средние скорости сорбции ионов меди на глинах различных месторождений незначительно отличаются друг от друга. Однако, средняя скорость сорбции на протопоповской и сергиевской глинах все-таки несколько выше, чем на купинской и полянской. Процессы сорбции ионов меди на обоих образцах угля происходят несколько быстрее, чем на купинской и полянской глинах.

Сорбционная емкость исследованных образцов глины и угля составляет 0.067–0.081 мг/г. Большая сорбционная емкость, как и средняя скорость, отмечается у глин месторождения «Сергеевка» и проявления «Протопоповка».

На рисунке 3 представлены данные по эффективности очистки модельных растворов от ионов  $Cu^{2+}$  исследованными сорбентами.

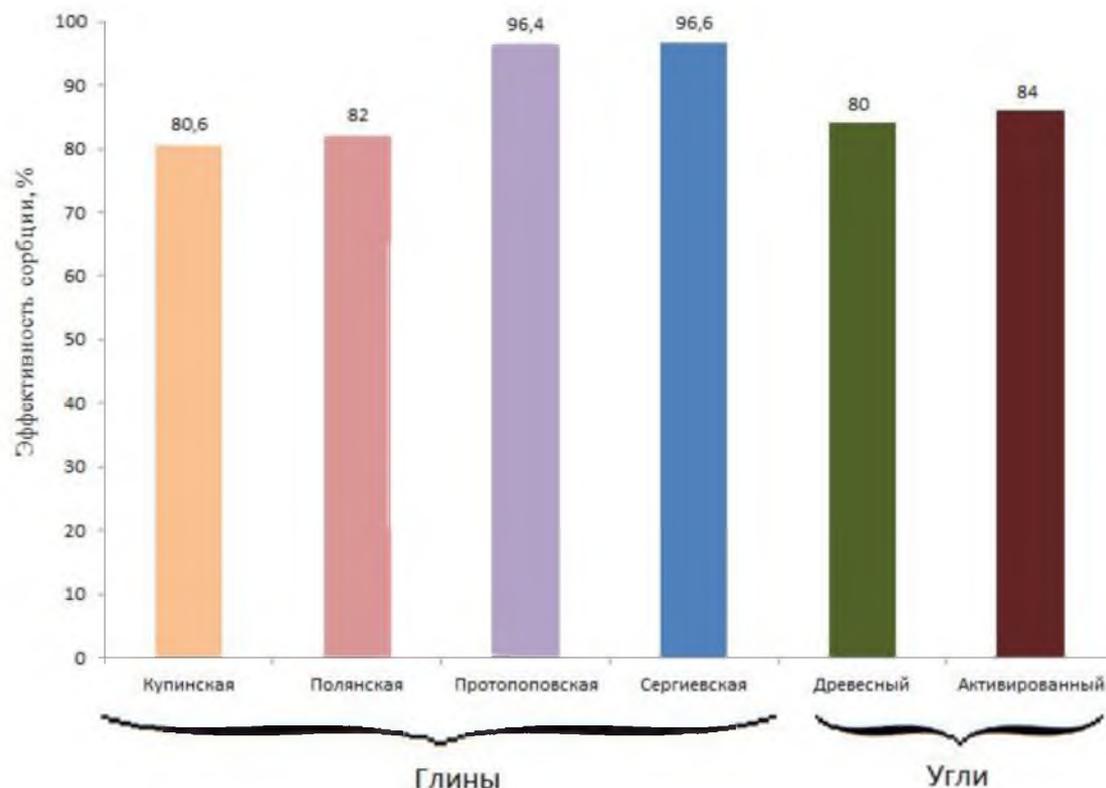


Рис. 3. Эффективность очистки водных растворов от ионов меди сорбентами различной химической природы

Fig. 3. Efficiency of the aqueous solutions purification from the copper ions by the sorbents of various chemical origins

Различная способность исследуемых глин сорбировать ионы меди объясняется различиями в их вещественном (минералогическом и химическом) составе, в содержании сорбционно-активных минералов, разными значениями абсолютной величины электрокинетического потенциала, размера частиц, о чем было сказано в наших предыдущих публикациях [Везенцев, Баранникова, 2004; Везенцев и др., 2006б, 2012; Голдовская-Перистая и др., 2004, 2011; Vezentsev et al., 2014b].

Полученные данные по кинетике и эффективности процесса сорбции ионов меди на глинах в основном коррелируют с содержанием сорбционно-активного минерала – монтмориллонита (масс.%): Купинское проявление – 40–41, Полянское месторождение – 46–47, Протопоповское проявление – 50–51, Сергеевское месторождение – 50–52.

О том, что сорбция ионов металлов в большей степени детерминирована процессами ионного обмена, свидетельствует появление в фильтратах водной суспензии глины ионов  $Ca^{2+}$  и  $Mg^{2+}$ . В модельном растворе соли меди (II) после сорбции содержатся эти ионы с преобладанием катионов магния. Это связано с близкими значениями ионных радиусов  $Cu^{2+}$  и  $Mg^{2+}$  [Кормош, 2009].

Таким образом, эффективность очистки водных растворов от ионов меди активированным углем выше по сравнению с глинами месторождения «Поляна» и



проявления «Купино», но ниже, чем при использовании протопоповской и сергиевской глин.

### Заключение

Проведенная работа по изучению кинетики и эффективности очистки модельных растворов от ионов меди (II) сорбентами различной химической природы показала, что практически все исследованные сорбенты позволяют снижать содержание меди в растворе до значений ниже предельно допустимой концентрации в водных объектах хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования (1.0 мг/л) [ГН 2.1.5.1315-03].

В экспериментах оставшаяся концентрация ионов меди в состоянии сорбционного равновесия для исследованных сорбентов составляла: глина проявления «Купино» – 0.97 мг/л; глина месторождения «Поляна» – 0.90 мг/л; глина проявления «Протопоповка» – 0.18 мг/л; глина месторождения «Сергеевка» – 0.17 мг/л; уголь древесный 1 мг/л; уголь активированный – 0.8 мг/л.

Природные глины Сергиевского месторождения и Протопоповского проявления вполне могут служить альтернативой древесному и дорогостоящему активированному углю. Эффективность очистки воды от ионов меди с использованием указанных образцов глины при соотношении сорбат : сорбент = 0.000083 : 1 является максимальной и составляет 96–97%. Скорость сорбции ионов меди (II) также максимальна с этими сорбентами, сорбционное равновесие достигается через 60–75 минут.

Учитывая наличие монтмориллонит содержащих глин в Белгородской области и отсутствие разрабатываемых месторождений других сорбционно-активных природных сорбентов – мергеля, торфа, диатомита, кварцево-глауконитового песка и низкую сорбционную способность последних, считаем целесообразным рекомендовать использовать глины Сергиевского месторождения и Протопоповского проявления для очистки воды водных объектов культурно-бытового водопользования, что предполагает получение существенного экономического эффекта.

### Благодарности

*Работа выполнена за счет средств гранта РФФИ №14-43-08021 «Исследование процессов фазо- и структурообразования, протекающих при совместном пиролизе растительных отходов агропромышленного комплекса Белгородской области с местными монтмориллонит содержащими глинами, и изучение влияния физико-химических параметров процесса синтеза эффективных композиционных сорбентов на поглощение тяжелых металлов, патогенных и условно-патогенных бактерий из водных растворов и очистку плодородных почв от пестицидов», 2015–2016 гг.*

### Список литературы References

1. Бондаренко А.В., Читечян С.С., Бельчинская Л.И. 2008. Использование теорий поверхностных комплексов для описания катионзамещения в процессе модифицирования монтмориллонита. *В кн.: Сорбенты как фактор качества жизни и здоровья. Материалы III Международной научной конференции* (г. Белгород, 22–24 сентября 2008 г.). Белгород, Изд-во БелГУ: 41–44.

Bondarenko A.V., Chitechyan S.S., Belchinskaya L.I. 2008. Usage of the surface complexes theories for the description of cation substitution during the modification of the montmorillonite. *In: Sorbenty kak faktor kachestva zhizni i zdorov'ja. Materialy III Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii* (g. Belgorod, 22–24 sentjabrja 2008 g.) [Sorbents as a factor of life and health quality: materials of the 3rd International scientific conference (Belgorod, 22–24 September 2008)]. Belgorod: BelGU:41–44. (in Russian)

2. Борзых Ю.Н., Голдовская Л.Ф. 2000. Исследование состояния реки Везелки и ее экологическая оценка. *В кн.: Сборник студенческих научных работ. Вып. III. Белгород, Изд-во БГУ: 38–40.*



Borzih Y.N., Goldovskaja L.F. 2000. The study of the state of the Vezelka river and its ecological estimation. *In: Sbornik studentcheskih nauchnyh rabot. Vyp. III [The digest of the students' scientific works. Vol. III].* Belgorod, Izd-vo BelGU: 39-40. (in Russian)

3. Везенцев А.И., Баранникова Е.В. 2004. Сорбция ионов железа (III), меди (II) и свинца (II) обогащенными и модифицированными гидроалюмосиликатами. *В кн.: Сорбенты как фактор качества жизни и здоровья. Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием* (г. Белгород, 11–14 октября 2004 г.). Белгород, Изд-во БелГУ: 33–37.

Vezencev A.I., Barannikova E.V. 2004. Sorption of ions of iron (III), copper (II) and lead (II) enriched and modified hydroaluminosilicates. *In: Sorbenty kak faktor kachestva zhizni i zdorov'ja. Materialy Vserossijskoj nauchnoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem* (g. Belgorod, 11–14 oktjabrja 2004 g.) [Sorbents as a factor in quality of life and health. Materials of All-Russian Scientific Conference with international participation (Belgorod, 11–14 October 2004)]. Belgorod, Izd-vo BelGU: 33–37. (in Russian)

4. Везенцев А.И., Трубицын М.А., Романшак А.А. 2004. Сорбционно-активные породы Белгородской области. *Горный журнал*, (1): 51–52.

Vezencev A.I. Trubicyn M.A., Romanshak A.A. 2004. Sorption active rocks of Belgorod region. *Gornyj Zhurnal*, (1): 51–52. (in Russian)

5. Везенцев А.И., Голдовская Л.Ф., Кормош (Баранникова) Е.В., Сиднина Н.А., Добродомова Е.В. 2006а. Сорбция ионов тяжелых металлов нативными, обогащенными и модифицированными формами монтмориллонитовых глин. *Сорбционные и хроматографические процессы*, 6 (4): 1327–1330.

Vezencev A.I., Goldovskaja L.F., Kormosh (Barannikova) E.V., Sidnina N.A., Dobrodomova E.V. 2006. The sorption of heavy metal ions native enriched and modified forms of montmorillonite clay. *Sorbcionnye i hromatograficheskie processy*, 6 (4): 1327–1330. (in Russian)

6. Везенцев А.И., Романшак А.А., Илющенко В.П., Нестерова Л.Л., Сиднина Н.А., Габрук Н.Г. 2006б. Минералогические характеристики сорбционно-активной глины месторождения «Поляна». *В кн.: Сорбенты как фактор качества жизни и здоровья. Материалы II Всероссийской научной конференции с международным участием* (г. Белгород, 18–23 сентября 2006 г.). Белгород, Изд-во БелГУ: 41–44.

Vezencev A.I., Romanshak A.A., Iljushhenko V.P., Sidnina N.A., Gabruk N.G. 2006. Mineralogical characteristics of sorption-active clay field «Polyana». *In: Sorbenty kak faktor kachestva zhizni i zdorov'ja. Materialy Vserossijskoj nauchnoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem* (g. Belgorod, 18–23 oktjabrja 2006 g.) [Sorbents as a factor in quality of life and health. Materials of All-Russian Scientific Conference with international participation (Belgorod, 11–14 October 2004)]. Belgorod, Izd-vo BelGU: 41–44. (in Russian)

7. Везенцев А.И., Голдовская-Перистая Л.Ф., Сиднина Н.А., Добродомова Е.В., Зеленцова Е.С. 2007. Определение кинетических зависимостей сорбции ионов меди и свинца породами Белгородской области. *Научные ведомости БелГУ. Естественные науки*, 5 (5): 105–109.

Vezencev A.I., Goldovskaja-Peristaja L.F., Sidnina N.A., Dobrodomova E.V., Zelencova E.S. 2007. Evaluation of copper and lead ions sorption kinetic dependencies by soils of Belgorod region. *Nauchnye vedomosti BelGU. Estestvennye nauki [Belgorod State University Scientific Bulletin. Natural sciences]*, 5 (5): 105–109. (in Russian)

8. Везенцев А.И., Воловичева Н.А., Королькова С.В. 2008. Кинетические зависимости сорбции ионов  $Cu(II)$  нативными и модифицированными формами монтмориллонитовых глин. *В кн.: Сорбенты как фактор качества жизни и здоровья. Материалы III Международной научной конференции* (г. Белгород, 22–24 сентября 2008 г.). Белгород, Изд-во БелГУ: 76–79.

Vezencev A.I., Volovicheva N.A., Korolkova S.V. 2008. Copper ions kinetic dependencies by native and modified forms of montmorillonite clays. *In: Sorbenty kak faktor kachestva zhizni i zdorov'ja. Materialy III Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii* (g. Belgorod, 22–24 sentjabrja 2008 g.) [Sorbents as factors of life and health. Proceedings of the III International Scientific Conference (Belgorod, 22–24 September 2008)]. Belgorod, Izd-vo BelGU: 76–79. (in Russian)

9. Везенцев А.И., Добродомова Е.В., Перистая Л.Ф., Воловичева Н.А., Перистый В.А. 2012. Минералогический состав глины Сергиевского месторождения как сорбента тяжелых металлов из водных растворов. *Вода: химия и экология*, (10): 78–84.

Vezencev A.I., Dobrodomova E.V., Peristaja L.F., Volovicheva N.A. Peristyj V.A. 2012. The mineralogical composition of the clay Sergius deposits as a sorbent of heavy metals from aqueous solutions. *Voda: himija i ekologija*, (10): 78–84. (in Russian)



10. Везенцев А.И., Нгуен Хоай Тъяу, Соколовский П.В., Буханов В.Д., Милютин В.В., Конькова Т.В., Алехина М.Б. 2015. Композиционный сорбент на основе минерального и растительного сырья. Сорбционные и хроматографические процессы, 15 (1): 127–133.

Vezencev A.I., Nguen Hoaj Tyau, Sokolovskij P.V., Buhanov V.D., Milyutin V.V., Kon'kova T.V. Alekhina M.B. 2015. Composite sorbent on the basis of mineral and vegetative raw materials. Sorbcionnyye i hromatograficheskie processy, 15 (1): 127–133. (in Russian)

11. Вигдорович В.И., Богданова Е.П., Цыганкова Л.Е., Николенко Д.В. 2011. Влияние  $pH$  на сорбцию глауконитом ГБРТО ионов железа (II), меди (II) и свинца (II) из разбавленных растворов. Сорбционные и хроматографические процессы, 11 (6): 913–921.

Vigdorovich V.I., Bogdanova E.P., Cygankova L.E., Nikolenko D.V. 2011. Effect of  $pH$  on the sorption by glauconite iron (II), copper (II) and lead (II) ions from the diluted solutions. Sorbcionnyye i hromatograficheskie processy, 11 (6): 913–921. (in Russian)

12. Вигдорович В.И., Цыганкова Л.Е., Николенко Д.В., Акулов А.И. 2010. Извлечение ионов меди (II) и фенола в проточном растворе глауконитом Бондарского района Тамбовской области. Сорбционные и хроматографические процессы, 10 (6): 930–937.

Vigdorovich V.I., Cygankova L.E., Nikolenko D.V., Akulov A.I. 2010. Extraction of copper (II) and phenol ions in a flowing solution by the glauconite of Bondarsky district of the Tambov region. Sorbcionnyye i hromatograficheskie processy, 10 (6): 930–937. (in Russian)

13. ГН 2.1.5.1315-03. Предельно допустимые концентрации химических веществ в воде водных объектах хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. Дата введения 15.06.2003.

GN 2.1.5.1315-03. The maximum permissible concentration (MPC) of chemicals in water bodies of drinking and cultural and community water use. Date of introduction 15.06.2003. (in Russian)

14. Голдовская Л.Ф. 2008. Химия окружающей среды. Москва, 295.

Goldovskaja L.F. 2008. Himija okružhajushhej sredy [Environmental Chemistry]. Moscow, 295. (in Russian)

15. Голдовская Л.Ф., Перистый В.А., Терентьева С.А., Данькова Т.Н. 1998. Исследование Белгородского водохранилища и его экологическая оценка. В кн.: Юг России в прошлом и настоящем: история, экономика, культура. Материалы Международной научно-практической конференции (г. Белгород, май 1998 г.). Белгород: 137–138.

Goldovskaja L.F., Peristyj V.A., Terent'eva S.A., Dan'kova T.N. 1998. Research Belgorod reservoir and its environmental assessment. In: Jug Rossii v proshlom i nastojashhem: istorija, jekonomika, kul'tura. Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii (g. Belgorod, maj 1998 g.) [South of Russia in the past and the present: history, economy, culture. International scientific-practical conference (Belgorod, May 1998)]. Belgorod: 137–138. (in Russian)

16. Голдовская Л.Ф., Мазикин А.В., Перистый В.А., Рудычева Т.А. 2000. Исследование химического состава воды и некоторых гидробионтов рек Нежеголь и Корень. В кн.: Экологическая безопасность и здоровье людей в XXI веке. Материалы VI Всероссийской научно-практической конференции (г. Белгород, 10–12 октября 2000 г.). Белгород, Изд-во БГУ: 19–23.

Goldovskaya L.F., Mazikin A.V., Peristyj V.A., Rudycheva T.A. 2000. The study of the chemical composition of water and some hydrocoles of Nezhegol and Root rivers. In: Ekologicheskaya bezopasnost' i zdorov'e lyudej v XXI veke. Materialy VI Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii (g. Belgorod, 10–12 oktyabrya 2000 g.) [Environmental health and safety of people in the XXI century. Proceedings of the VI All-Russian scientific-practical conference (Belgorod, 10–12 October 2000)]. Belgorod, Izd-vo BGU: 19–23. (in Russian)

17. Голдовская-Перистая Л.Ф., Везенцев А.И., Гончаренко С.А., Прудников Д.Н. 2004. Исследование способности купинской и протопоповской глин сорбировать тяжелые металлы (медь и свинец) из водных растворов. В кн.: Сорбенты как фактор качества жизни и здоровья. Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием (г. Белгород, 11–14 октября 2004 г.). Белгород, Изд-во БелГУ: 46–49.

Goldovskaja-Peristaja L.F., Vezencev A.I., Goncharenko S.A., Prudnikov D.N. 2004. The ability of Kupinsky Protopopov and clays to adsorb heavy metals (copper, lead) from aqueous solutions. In: Sorbenty kak faktor kachestva zhizni i zdorov'ja. Materialy Vserossijskoj nauchnoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem (g. Belgorod, 11–14 oktjabrja 2004 g.) [Sorbents as a factor in quality of life and health. Materials of All-Russian Scientific Conference with international participation (Belgorod, 11–14 October 2004)]. Belgorod, Izd-vo BelGU: 46–49. (in Russian)

18. Голдовская-Перистая Л.Ф., Воловичева Н.А., Везенцев А.И., Перистый В.А. 2011. Изотерма сорбции ионов стронция монтмориллонит-гидрослюдистыми глинами. Сорбционные и хроматографические процессы, 11 (2): 165–171.



Goldovskaja-Peristaja L.F., Volovicheva N.A., Vezencev A.I., Peristyj V.A. 2011. Sorption isotherms of strontium ions montmorillonite clay-hydromica. *Sorbcionnyye i hromatograficheskie processy*, 11 (2): 165–171. (in Russian)

19. ГОСТ 4388-72. Вода питьевая. Методы определения массовой концентрации меди. Дата введения 01.01.1974.

GOST 4388-72. Drinking water. Methods for determination of the mass concentration of copper. Date of introduction 01.01.1974. (in Russian)

20. Долина Л.Ф. 2008. Современная техника и технологии для очистки сточных вод от солей тяжелых металлов. Днепропетровск, Изд-во Континент, 254.

Dolina L.F. 2008. *Sovremennaja tehnika i tehnologii dlja ochistki stochnyh vod ot solej tjazhelyh metallov* [Modern techniques and technologies for sewage treatment of foul water from heavy metals: a monograph]. Dnepropetrovsk, Izd-vo Kontinent, 254. (in Russian)

21. Кормош Е.В. 2009. Модифицирование монтмориллонитсодержащих глин для комплексной сорбционной очистки сточных вод. Автореф. дис. ... канд. тех. наук. Белгород, 17.

Kormosh E.V. 2009. *Modificirovanie montmorillonitsoderzhashhih glin dlja kompleksnoj sorbcionnoj ochistki stochnyh vod* [Modifying montmorillonite containing clays for sorption complex wastewater treatment]. Abstract. dis. ... cand. tech. sciences. Belgorod, 17. (in Russian)

22. Лозановская И.Н., Орлов Д.С., Садовникова Л.К. 1998. Экология и охрана биосферы при химическом загрязнении. М., Высшая школа, 287.

Lozanovskaya I.N., Orlov D.S., Sadovnikova L.K. 1998. *Jekologija i ohrana biosfery pri himicheskom zagrjaznenii* [Ecology and protection of the biosphere with chemical contamination]. Moscow, Vysshaya shkola, 287. (in Russian)

23. Отдел научно-технической информации Академии коммунального хозяйства. 1989. Правила приема производственных сточных вод в системы канализации населенных пунктов. Москва, 104.

Department of Scientific and Technical Information of the Academy of Public Utilities. 1988. *Rules of admission of industrial waste water into the sewage system of settlements*. Moscow, 104. (in Russian)

24. Паффенгольц К.Н. и др. (ред. колл.). 1978. Геологический словарь. Т. 2. М., Недра, 456.

Paffengol'c K.N. et al. (red. coll.). 1978. *Geology Dictionary*. Vol. 2. Moscow, Nedra: 194–195. (in Russian)

25. Перистая Л.Ф., Индина И.В., Перистый В.А., Козырева Ю.Н. 2011. Химико-экологическая и гигиеническая оценка воды природного парка «Нежеголь». *Научные ведомости БелГУ. Естественные науки*, 17 (21): 75–84.

Peristaja L.F., Indina I.V., Peristyj V.A., Kozyreva Ju.N. 2011. *Chemical and environmental and hygienic assessment of water park «Nezhegol»*. *Nauchnye vedomosti BelGU. Estestvennye nauki* [Belgorod State University Scientific Bulletin. Natural sciences], 17 (21): 75–84. (in Russian)

26. Смоленская Л.М., Латыпова М.М., Василенко М.И., Старостина И.В., Пендюрин Е.А. 2004. Сорбенты для очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов. В кн.: Сорбенты как фактор качества жизни и здоровья. Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием (г. Белгород, 11–14 октября 2004 года). Белгород, Изд-во БелГУ: 162–166.

Smolenskaya L.M., Latypova M.M., Vasilenko M.I., Starostina I.V., Pendyurin E.A. 2004. *Sorbents for the purification of waste water from heavy metal ions*. *In: Sorbenty kak faktor kachestva zhizni i zdorov'ja*. *Materialy Vserossijskoj nauchnoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem* (g. Belgorod, 11–14 oktjabrja 2004 g.) [Sorbents as a factor in quality of life and health. Materials of All-Russian Scientific Conference with international participation (Belgorod, 11–14 October 2004)]. Belgorod, Izd-vo BelGU: 162–166. (in Russian)

27. Федеральное агентство по рыболовству. 2010. Приказ от 18 января 2010 года №20 Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения.

Federal Fishery Agency. 2010. Order of 18 January 2010 №20 On approval of fishery quality standards for water of water bodies, including the standards of maximum permissible concentrations of harmful substances in the waters of fishery water bodies.

28. Фелленберг Г. 1997. Загрязнение природной среды. Введение в экологическую химию. М., Мир, 232.

Fellenberg G. 1997. *Zagrjaznenie prirodnoj sredy. Vvedenie v jekologicheskiju himiju* [Contamination of the environment. Introduction to environmental chemistry]. Moscow, Mir, 232.



29. Goldovskaya L.F., Peristy V.A., Saltevsckaya E.V., Shevtshenko V.P. 1998. Study of the element composition of aerosols of the Belgorod. *Aerosols*, 4 (5): 208.

30. Vezentsev A.I., Goldovskaya-Peristaya L.F., Sokolovskiy P.V., Peristiy V.A., Buhanov V.D. 2014a. Comparative Assessment of Carbonic Sorbents' Capability to Purify Water Solutions from Ions of Lead and Copper. *Advances in Environmental Biology*, 8 (13): 13–16.

31. Vezentsev A.I., Kormosh E.V., Peristaya L.F., Shamshurov A.V., Cherkasov R.A. 2014b. Material composition and colloid-chemical properties of natural and modified montmorillonite clays. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 9 (11): 2358–2366.