

АДСОРБЦИЯ АММИАКА АКТИВНЫМ УГЛЕМ АГ-3**Н.В. Ксандров, О.Р. Ожогина**

Николай Владимирович Ксандров *, Ольга Рэмовна Ожогина

Кафедра химической технологии, Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, ул. Минина, 24, Нижний Новгород, Российская Федерация, 603600

E-mail: nksandrov@gmail.com

Проблема извлечения аммиака из влажных газов с его возвратом в процесс может иметь место в технологиях, использующих водноаммиачные растворы. Примером таких технологий служит извлечение оксидов цветных металлов, образующих растворимые аммиакаты, из техногенных отходов раствором NH_4Cl и аммиака в воде. Оксиды цветных металлов далее осаждают, отгоняя смесь паров воды и аммиака из раствора. Очистка отходов уменьшает загрязнение природных вод и расширяет сырьевую базу металлургии меди и цинка. Для возврата NH_3 на очистку отходов перспективна его адсорбция из газопаровой смеси. Используемый в аммиачных цехах силикагель неприменим для поглощения аммиака из влажных газов. Данные по адсорбции NH_3 из газопаровой смеси гидрофобными активными углями недостаточны для практических целей. Динамическим методом изучена зависимость равновесной адсорбционной емкости активного угля АГ-3 по парам аммиака от их парциального давления при 0,1–15 кПа и температуре 288–323 К при сорбции аммиака из влажных газов. Объем микропор образцов угля равен $0,31 \pm 0,02 \text{ см}^3/\text{г}$. Представлено уравнение, обеспечивающее расчет сорбционной емкости угля в изученном интервале изменения параметров адсорбции со средней ошибкой менее 5% по каждой изотерме. Теплота адсорбции, равная 37–39 кДж/моль, больше теплоты конденсации паров NH_3 примерно на 20 кДж/моль, что характерно для физической адсорбции. При регенерации поглотившего аммиак угля отмечена стабильность адсорбционной емкости.

Ключевые слова: аммиак, адсорбция, угли активные

ADSORPTION OF AMMONIA WITH ACTIVATED COAL AG-3

N.V. Ksandrov, O.R. Ozhogina

Nikolai V. Ksandrov*, Olga R. Ozhogina

Department of Chemical Technology, Nizhny Novgorod State Technical University named after R. E. Alekseev, Minina st., 24, Nizhny Novgorod, 603600, Russia

E-mail: nksandrov@gmail.com*

The problem of NH₃ extraction from wet gases and returning it to the process may take place in the technologies which use aqueous ammonia solutions. The extraction of non-ferrous metal oxides forming soluble ammoniates from industrial wastes with the solution of ammonium chloride and ammonia in water is an example of such technologies. The oxides of non-ferrous metals are then precipitated, driving the mixture of water vapor and ammonia off the solution. Waste purification reduces the pollution of natural water resources and expands the raw material base of metallurgy of copper and zinc. To return NH₃ to the waste treatment it is efficient to use adsorption of ammonia from the gas-vapor mixture. The silica gel used in ammonia plants is not applicable to absorption NH₃ from wet gases. The data on the adsorption NH₃ from the gas-vapor mixture with hydrophobic activated coals are not sufficient for practical purpose. The dependence of the equilibrium adsorption capacity of activated coal AG-3 on ammonia vapors on their partial pressure at 0.1–15 kPa and a temperature of 288–323 K in the sorption of ammonia from wet gases is studied with a dynamic method. The micropore volume of the coal samples is equal to 0.31±0.02 cm³/g. The presented equation provides the calculation of the sorption capacity of coal in the studied range of adsorption parameter change with an average error less than 5% for each isotherme. The heat of adsorption is equal to 37–39 kJ/mol which is larger than the heat of condensation of ammonia vapors by about 20 kJ/mol, which is typical for physical adsorption. During the regeneration of the coal which absorbed the ammonia the adsorption capacity was stable.

Keywords: ammonia, adsorption, activated coal

Для цитирования:

Ксандров Н.В., Ожогина О.Р. Адсорбция аммиака активным углем АГ-3. *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 2018. Т. 61. Вып. 8. С. 53–58

For citation:

Ksandrov N.V., Ozhogina O.R. Adsorption of ammonia with activated coal AG-3. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* 2018. V. 61. N 8. P. 53–58

ВВЕДЕНИЕ

В технологиях, использующих водноаммиачные растворы, образуются содержащие аммиак влажные газы. Например, при извлечении оксидов меди и цинка из техногенных отходов водным раствором NH₄Cl и NH₃ с растворением аммиакатов цветных металлов отгоняют NH₃ и пары воды из раствора для осаждения CuO и ZnO. Очистка отходов от меди и цинка уменьшает загрязнение природных вод, увеличивая полноту использования вторичного сырья в металлургии. Для описанной технологии изучены вопросы подготовки сырья [1, 2], оптимальные параметры извлечения [3, 4], давление паров [5–7] и плотность использу-

емых растворов [8]. Выделение NH₃ из отходящих газопаровых смесей изучено недостаточно; при этом представляется рациональным его ретур из отходящих газов в технологический процесс. Известные методы сорбции аммиака водой и растворами кислот обеспечивают защиту атмосферы без возврата NH₃ в процесс. Так, при высокой степени очистки газов от NH₃ водой получают более разбавленную аммиачную воду, чем исходная. Возврат NH₃ в процесс возможен при регенерации поглотившего его адсорбента, но широко применяемый силикагель, даже в водостойких формах [9], неприменим для обработки смеси аммиака и паров воды. Перспективны для обработки влаж-

ных газов не обладающие гидрофильностью активные угли (АУ), содержащие на поверхностях щелевых пор кислотные поверхностные оксиды, связывающие аммиак [10-12]. В справочной литературе [13-15] нет данных по емкости АУ по аммиаку; отрывочные данные [16] по волокнистым АУ не характеризуют влияние условий адсорбции на емкость АУ. Отмечена значимость [17] адсорбции NH_3 АУ не только для технологии, но и для защиты среды обитания. Анализ состояния окружающей среды [18, 19] в типичном промышленном регионе показал существенную роль аммиака в ее загрязнении.

Целью настоящей работы является изучение влияния условий адсорбции на равновесную сорбционную емкость АУ (a^*) по NH_3 .

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Влияние условий адсорбции на a^* угля АГ-3 по аммиаку изучено динамическим методом. До опыта образец АУ высушивали при 423 К. Аммиак поглощали из смеси с азотом, барботировавшим через раствор аммиака в воде, при парциальном давлении NH_3 (P_{NH_3}) от 0,1 до 15 кПа. Содержание NH_3 в газе в конце опыта составляло не менее 0,99 исходного. Газ приобретал температуру опыта, поступая на уголь через змеевик площадью 0,12 м², помещенный в термостат вместе с адсорбером. Давление в адсорбере (P) равно сумме внешнего давления по anerоиду и показаний соединенного с адсорбером манометра. Расход газа измеряли капиллярным реометром, температуру опыта – термометрами, помещенными в массу угля и на выходе газа из адсорбера. Мольные доли NH_3 в газе до и после адсорбции (γ_1 и γ_2) определяли, титруя поглотившую аммиак воду в калиброванных шприцах-пробоотборниках 0,1 N HCl. Массу NH_3 на угле (при равных γ_1 и γ_2 – равновесную емкость АУ) находили гравиметрическим методом и интегрированием выходных кривых. P_{NH_3} считали равным величине $P\gamma_2$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Из приведенных в табл. 1 опытных данных видно, что равновесная емкость АУ по аммиаку (a^* , мг/г) растет с его охлаждением и ростом P_{NH_3} .

Изотермы, отвечающие данным таблицы, по классификации Брунауэра относятся к V типу [20], характерному для систем, в которых связи молекул адсорбата между собой (водородные связи в аммиачном конденсате) прочнее связей ад-

сорбент-адсорбат. При $P_{\text{NH}_3} > 8$ кПа и температуре ниже 303 К изотермы адсорбции почти горизонтальны, что вызвано заполнением мезопор угля конденсатом при относительном давлении паров NH_3 меньше 1 [20]. В изученном интервале изменений температуры и парциального давления аммиака зависимость a^* мг/г с относительной ошибкой менее 5% описывается уравнением:

$$1/a^* = 0,011 + 10^{(9,33599 - 3229/T)} P_{\text{NH}_3}^{-1,6} \quad (1)$$

Вычисленные по уравнению Клапейрона-Клаузиуса на основе опытных величин a_{NH_3} теплоты адсорбции аммиака ($Q_{1,2}$, кДж/моль) указаны в табл. 2. Индексы 1 и 2 относятся, соответственно, к температурам 288-303 и 303-313 К. Величины «чистых» теплот адсорбции равны разности $Q_{1,2}$ и λ – теплоты конденсации аммиака средней в интервалах 288-303 и 303-313 К [13].

Таблица 1

Интерполированные значения сорбционной емкости АУ

Table 1. Interpolated values of adsorption capacity of AU

P_{NH_3} , кПа	a^* , мг/г при температурах, К						
	288	293	298	303	308	313	323
0,1	1,76	1,14	0,71	0,48	0,33	0,22	0,10
0,3	9,48	6,45	4,91	2,80	1,92	1,29	0,77
0,5	19,4	13,8	8,50	6,49	4,25	3,11	1,51
0,8	33,9	24,9	18,5	12,4	9,01	6,78	3,42
1,0	40,9	32,0	24,2	16,8	12,5	8,22	4,87
1,5	—	45,3	36,5	28,1	21,0	14,5	—
2,0	—	57,8	—	38,0	29,5	21,5	—
3,0	76,4	67,2	60,5	52,9	44,1	35,8	22,1
3,5	—	70,4	—	57,9	48,9	40,1	—
4,0	—	74,3	—	60,3	52,9	45,2	—
5,0	85,2	80,6	75,5	69,3	62,1	52,8	37,1
5,5	—	82,0	—	70,1	—	56,4	—
6,0	—	82,5	—	74,1	—	60,0	—
6,5	—	82,7	—	76,0	—	63,9	—
8,0	87,2	86,3	80,9	79,5	72,9	67,9	55,3
10	90,9	87,0	85,3	82,4	77,2	73,9	62,1
12	91,1	87,4	87,0	83,9	82,3	77,5	66,9
15	91,3	89,7	87,7	87,5	84,2	81,0	73,0

Таблица 2

Зависимость теплоты адсорбции аммиака, кДж/моль, от его содержания на угле

Table 2. The dependence of the heat of ammonia adsorption, kJ/mmol, on its content on carbon

a_{NH_3} , ммоль/г	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0
Q_1 ,	41,0	38,7	38,3	37,9	37,7
Q_2	39,5	38,1	37,3	36,6	35,5
$Q_1 - \lambda$	21	18,7	18,3	17,9	17,7
$Q_2 - \lambda$	20,4	19,0	18,2	17,5	16,4

Из данных табл. 2 видно постепенное уменьшение теплот адсорбции с ростом насыщения активного угля аммиаком. Незначительное превышение этой величины при содержании аммиака на активном угле 0,5 ммоль/г может объясняться связыванием части аммиака, сорбируемого при P_{NH_3} меньше 1кПа, с поверхностными оксидами активного угля. Разность вычисленной из экспериментальных данных теплоты адсорбции и λ – теплоты конденсации аммиака [13] уменьшается с ростом содержания поглощенного NH_3 на АУ, как это следует и ожидать, исходя из того, что теплота конденсации служит пределом изменения теплоты адсорбции с ростом насыщения адсорбента [20, 21]. Численные величины $Q - \lambda$ («чистых» теплот адсорбции) соответствуют физической природе адсорбции аммиака [20, 21], облегчающей регенерацию отработанного адсорбента.

Зависимость теплоты адсорбции аммиака от a_{NH_3} – его содержания на угле со средней относительной ошибкой $\pm 1,6\%$ описывается уравнением:

$$Q = 38,8(a_{\text{NH}_3})^{-0,04} \quad (2)$$

Для изучения регенерации отработанного угля, адсорбировавшего аммиак, в отдельной серии опытов использованы образцы АУ, содержащие 55 ± 1 мг/г аммиака. Указанное насыщение достижимо при температурах ниже 318 К и P_{NH_3} не менее 5кПа, причем в этих условиях указанное содержание аммиака на угле меньше равновесного.

Аммиак десорбировали из угля в термостатированном реакторе диаметром 50 мм, куда вместо смеси азота и аммиака, использованной в опытах по адсорбции, подавали осушенный в склянке Тищенко воздух, подогретый в змеевике термостата до температуры в реакторе.

Скорость газа на входе в десорбер составляла 2 см/с. Десорбцию вели при температурах 343 ± 1 К (I режим) и 353 К (II режим) и давлении 99 ± 1 кПа. Из газов десорбции NH_3 поглощали серной кислотой, содержание азота в кислоте определяли затем формалиновым методом. Результаты эксперимента представлены в табл. 3. Объем воздуха, поданного в десорбер (V), указан в мл на 1 г угля, адсорбировавшего NH_3 при 293 К, P_{NH_3} не менее 5 кПа и общем давлении 100 ± 1 кПа; доля NH_3 в газах десорбции (V_{NH_3}) – в объемных процентах, степень десорбции (n) – в процентах масс.

Таблица 3

Зависимость степени десорбции от объема поданного в десорбер воздуха

Table 3. The dependence of the degree of desorption on the volume of air, applied to the desorber

I режим	V	150	300	500	1000
	V_{NH_3}	13-15	11-12	8-9	5-6
	n	29-30	49-52	60-62	71-72
II режим	V	150	300	500	1000
	V_{NH_3}	15-16	12-13	10-11	6-7
	n	42,8	58-59	71-72	89-90

Опыты показали, что полнота десорбции и содержание NH_3 в газе десорбции в изобарно-изотермических условиях при постоянном исходном содержании аммиака в сорбенте зависят от объема воздуха, поданного в десорбер. При соотношении воздуха, поданного на отдувку, к массе регенерируемого угля 150-500 мл/г парциальное давление аммиака в газах регенерации в условиях проведенных опытов позволяет, адсорбируя NH_3 водой, получить при необходимости 10% аммиачную воду. С ростом температуры десорбции степень десорбции при прочих равных условиях, естественно, повышается; однако при больших объемах отдувочного воздуха повышение температуры выше 353 К нецелесообразно, так как степень десорбции не может существенно возрасти. При необходимости повысить содержание аммиака в газах десорбции можно за счет уменьшения подачи отдувочного воздуха.

При подаче воздуха 1 л/г проведено 8 циклов «адсорбция-регенерация» с насыщением угля после каждой регенерации при P_{NH_3} 4,8-5,2 кПа. Средняя степень регенерации равна 73%, насыщение угля аммиаком после регенерации 55 ± 3 мг/г. Опыты не выявили зависимость адсорбционной емкости угля от числа циклов «адсорбция-десорбция».

ВЫВОДЫ

Изучена и описана расчетным уравнением зависимость емкости угля АГ-3 по аммиаку от температуры адсорбции и равновесного парциального давления аммиака.

Теплота поглощения аммиака соответствует его физической адсорбции.

Отработанный уголь может быть регенерирован с получением газа, содержащего от 5 до 15% об. аммиака. Не выявлено заметного влияния регенерации угля его адсорбционную способность по аммиаку при повторении циклов «адсорбция – регенерация».

ЛИТЕРАТУРА

REFERENCES

1. Шолак А., Имманусаева А., Райкулова А. Переработка металлургического шлака методом выщелачивания. *Механика и технологии*. 2016. № 3. С. 47-50.
2. Гагарина Т.Б., Ксандров Н.В., Ким П.П., Перетрутов А.А. Подготовка шлаков металлургического производства к переработке. *Современ. пробл. науки и образования*. 2013. № 4. С. 361-370.
3. Перетрутов А.А., Ксандров Н.В., Гагарина Т.Б., Чубенко М.Н., Ким П.П. Термодинамические и кинетические основы аммиачно-аммонийного извлечения соединений цинка и меди из техногенных отходов. Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2013. № 2 (99). С. 228 – 236.
4. Перетрутов А.А., Ким П.П., Чубенко М.Н., Якунин Ю.И. Совместная растворимость оксидов меди и цинка в аммиачно-аммонийных растворах. *Журн. физ. химии*. 2009. Т. 83. № 8. С. 1594–1597.
5. Перетрутов А.А., Чубенко М.Н., Ким П.П., Ксандров Н.В., Гагарина Т.Б. Равновесие «пар-жидкость» в системе « H_2O , NH_3 , NH_4Cl », содержащей аммиакаты цинка и меди. *Современ. пробл. науки и образования*. 2013. № 2. С. 513-518.
6. Гагарина Т.Б., Ксандров Н.В., Ожогина О.Р., Казанкова Т.Н., Перетрутов А.А. Изучение зависимости давления аммиака над совместным водным раствором аммиака и хлорида аммония от состава раствора. *Современ. пробл. науки и образования*. 2014. № 3. С. 817–821.
7. Гагарина Т.Б., Ксандров Н.В., Казанкова Т.Н., Ожогина О.Р., Перетрутов А.А. Влияние концентрации ионов цинка на давление аммиака над аммиачно-солевым раствором. *Современ. пробл. науки и образования*. 2014. № 6. С. 1799-1805.
8. Гагарина Т.Б., Ксандров Н.В., Казанкова Т.Н., Ожогина О.Р., Перетрутов А.А. Зависимость плотности совместных водных растворов аммиака, хлорида аммония, аммиаков цинка и меди от их состава. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2016. Т. 59. Вып. 2. С. 19–21.
9. Ульянова М.А., Гурова А.С., Шреде В.Е. Водостойкие силикагели и области их применения. *Вестн. Тамбов. гос. технич. ун-та*. 2006. № 1. С. 83-91.
10. Солдатов А.И. Структура и свойства поверхности углеродных материалов. *Вестн. Челяб. гос. ун-та*. 2011. № 1. С. 155-163.
11. Товбин Ю.К., Зайцева Е.С., Рабинович А.Б. Влияние внутренних движений адсорбата на характеристики адсорбции в случае структурно неоднородных поверхностей щелевидных пор. *Журн. физ. химии*. 2016. Т. 90. № 1. С. 138-147.
12. Беляева О.В., Краснова Т.А., Семёнова С.А., Гладкова О.С. Взаимодействие O_2 , O_3 , H_2O_2 с активированным углем. *Химия твёрдого топлива*. 2011. № 6. С. 61- 69.
13. Справочник азотчика. Т. 1. Под ред. Е.Я. Мельникова. М.: Химия. 1986. 512 с.
14. Тимонин А.С. Инженерно-экологический справочник. Т.1. Калуга: Изд-во Н. Бочкаревой. 2003. 884 с.
15. Ульянов В.М. Физико-химические характеристики веществ. Справочник проектировщика химического оборудования. Н.Новгород: Изд-во Нижегород. гос. технич. ун-та им. Р.Е. Алексеева. 2009. 308 с.
16. Брунько. Т.Г., Лазерко Г.А., Морозова А.А., Ермоленко И.Н. Поглощение аммиака волокнистыми угольными сорбентами с солевой добавкой. *Журн. приклад. химии*. 1978. Т. 51. № 1. С. 67 – 71.
1. Sholak A., Immanusaeva A., Raiikulova A. Processing of metallurgical slag by leaching method. *Mekanika I Tekhnol.* 2016. N 3. P. 47-50 (in Russian).
2. Gagarina T.B., Ksandrov N.V., Kim P.P., Peretrutov A.A. Preparation metallurgical slac for recycling. *Sovrem. Problemy Nauki I Obraz.* 2013. N 4. P. 361-370 (in Russian).
3. Peretrutov A.A., Ksandrov N.V., Gagarina T.B., Chubenko M.N., Kim P.P. Thermodynamic and kinetic fundamentals of ammonia - ammonium extraction of zinc and copper compounds from industrial waste. *Trudy NSTU im. R.E. Alekseev.* 2013. N 2 (99). P. 228 – 236 (in Russian).
4. Peretrutov A.A., Kim P.P., Chubenko M.N., Yakunin Yu.I. Joint solubility of copper and zinc oxides in ammonium-ammonia solutions. *Zhurn. Fizich. Khim.* 2009. V. 83. N 8. P. 1594–1597 (in Russian).
5. Peretrutov A.A., Chubenko M.N., Kim P.P., Ksandrov N.V., Gagarina T.B. Equilibrium vapor – liquid in the system of $H_2O-NH_3-NH_4Cl$ containing amines of zinc and copper. *Sovrem. Problemy Nauki I Obraz.* 2013. N 2. P. 513-518 (in Russian).
6. Gagarina T.B., Ksandrov N.V., Ozhogina O.R., Kazankova T.N., Peretrutov A.A. The study of the dependence of the pressure of ammonia over the joint aqueous solution of ammonia and ammonium chloride on the solution composition. *Sovrem. Problemy Nauki I Obraz.* 2014. N 3. P. 817–821 (in Russian).
7. Gagarina T.B., Ksandrov N.V., Kazankova T.N., Ozhogina O.R., Peretrutov A.A. The effect of the concentration of zinc ions at pressure of ammonia over the ammonium salt solution. *Sovrem. Problemy Nauki I Obraz.* 2014. N 6. P. 1799-1805 (in Russian).
8. Gagarina T.B., Ksandrov N.V., Kazankova T.N., Ozhogina O.R., Peretrutov A.A. The dependence of the density of joint aqueous solutions of ammonia, ammonium chloride, ammoniates of zinc and copper on their composition. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* 2016. V. 59. N 2. P. 19–21 (in Russian).
9. Ulyanova M.A., Gurova A.S., Shrede V.E. Water-resistant silica gels and their applications. *Vestn. Tambov. Gos. Tekhn. Un-ta.* 2006. N 1. P. 83-91 (in Russian).
10. Soldatov A.I. Structure and properties of the surface of carbon materials. *Vestn. Chelyab. Gos. Un-ta.* 2011. N 1. P. 155-163 (in Russian).
11. Tovbin Yu.K., Zaitsev E.S., Rabinovich A.B. Influence of internal adsorbate motions on adsorption characteristics in the case of structurally inhomogeneous surfaces of slit-like pores. *Zhurn. Fizich. Khim.* 2016. V. 90. N 1. P. 138-147 (in Russian).
12. Belyaeva O.V., Krasnova T.A., Semyonova S.A., Gladkova O.S. Interaction of O_2 , O_3 , H_2O_2 with activated carbon. *Khim. Tverdogo Topliva.* 2011. N 6. P. 61- 69 (in Russian).
13. Handbook of nitrogen industry. V. 1. Ed. by E. Y. Melnikov. M.: Khimiya. 1986. 512 p. (in Russian).
14. Timonin A.S. Engineering-Ecological Reference Book. V. 1. Kaluga: N. Bochkareva 2003. 884 p. (in Russian).
15. Ulyanov V.M. Physico-chemical characteristics of substances. Directory of the designer of chemical equipment. N. Novgorod: Izd-vo NSTU im. R. E. Alekseev. 2009. 308 p. (in Russian).

17. **Мухин В.М.** Экологические аспекты применения активных углей. *Экология и промышленность России*. 2014. № 12. С. 52-56.
18. **Уразгулова М.М., Ксандров Н.В.** Оценка роли влияния местных загрязнений на состояние поверхностных вод в нижнем течении реки Ока. *Фундаментал. исслед.* 2016. № 3. Ч. 2. С. 305- 309.
19. **Уразгулова М.М., Ксандров Н.В., Матвеева С.А.** Тенденция изменения состояния атмосферного воздуха в промышленном центре. *Междун. журн. приклад. и фундаментал. иссл.* 2015. № 7. Ч. 2. С. 347- 351.
20. **Кельцев Н.В.** Основы адсорбционной техники. М.: Химия. 1984. 592 с.
21. **Широков Ю.Г.** Теоретические основы технологии неорганических веществ. Иваново: Изд-во ГОУ ВПО Иванов. гос. хим.-технол. ун-та. 2009. 376 с.
16. **Brunko T.G., Lazerko G.A., Morozova A.A., Ermolenko I.N.** The absorption of ammonia with fibrous carbon sorbents with salt supplement. *Zhurn. Prikl. Khim.* 1978. V. 51. N 1. P. 67 – 71 (in Russian).
17. **Mukhin V.M.** Ecological aspects of the use of active coals. *Ekologiya I Promysh. Rossii.* 2014. N 12. P. 52-56 (in Russian).
18. **Urazgulova M.M., Ksandrov N.V.** Evaluation of the influence of local pollution on the surface waters in the lower reaches of the Oka river. *Fundamen. Issled.* 2016. N 3. Part 2. P. 305-309 (in Russian).
19. **Urazgulova M.M., Ksandrov N.V., Matveeva S.A.** Trend change in air condition in industrial centers. *Mezhd. Zhurn. Prikl. I Fundamet. Issled.* 2015. N 7. Part 2. P. 347-351 (in Russian).
20. **Keltsev N.V.** Principles of adsorption technology. M.: Khimiya. 1984. 592 p. (in Russian).
21. **Shirokov Yu.G.** Theoretical foundations of technology of inorganic substances. Ivanovo: Izd-vo Ivanov. Gos. Khim.-Tekhnol. Un-ta. 2009. 376 p. (in Russian).

*Поступила в редакцию 14.11.2017
Принята к опубликованию 12.07.2018*

*Received 14.11.2017
Accepted 12.07.2018*