

# АДСОРБЦИЯ ОСНОВАНИЙ НУКЛЕИНОВЫХ КИСЛОТ НА ПОВЕРХНОСТИ НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО ДИОКСИДА ТИТАНА

Н.Н. Власова, Л.П. Головкова, О.В. Маркитан, Н.Г. Стукалина

*Институт химии поверхности им. А.А. Чуйко Национальной академии наук Украины,  
ул. Генерала Наумова, 17, 03164 Киев, Украина, e-mail: natalie.vlasova@gmail.com*

*Адсорбция азотистых оснований нуклеиновых кислот рассмотрена с точки зрения теории комплексообразования на поверхности раздела фаз диоксид титана – водный раствор электролита. Рассчитаны константы равновесия кислотно-основных реакций гидроксильных групп на поверхности диоксида титана и образования поверхностных комплексов с биомолекулами.*

## Введение

Взаимодействие нуклеиновых кислот и их компонентов с поверхностью твердых тел представляет особый интерес, поскольку их адсорбция на различных минералах имеет прямое отношение к происхождению нуклеиновых кислот [1]. Минеральные поверхности могут способствовать олигомеризации нуклеотидов, а их адсорбция может защищать образующиеся нуклеиновые кислоты от деградации в окружающей среде [2–4]. Большинство выполненных до настоящего времени работ было посвящено изучению взаимодействий моно-, олиго- и полинуклеотидов с минеральными поверхностями, в основном глинистыми минералами [5]. Гораздо меньше внимания уделено адсорбции компонентов нуклеиновых кислот – нуклеотидов, нуклеозидов и оснований, причем имеющиеся публикации содержат только качественные данные [6 – 8]. В то же время такие исследования могли бы привести к выяснению природы взаимодействий этих биомолекул с поверхностью минералов на молекулярном уровне. Количественная интерпретация адсорбции затруднительна в случае взаимодействия органических соединений со сложными, состоящими из нескольких компонентов минералами. Проще выполнить количественное изучение адсорбции на поверхности оксида, поверхность которого можно достоверно охарактеризовать такими параметрами, как удельная поверхность, концентрация активных центров, константы равновесия протолитических реакций этих центров в водных растворах электролитов. Для изучения адсорбции оснований нуклеиновых кислот нами был выбран диоксид титана. С одной стороны, межфазная поверхность на границе между диоксидом титана и водным раствором представляет большой интерес для многих областей химии – коллоидной химии, химии окружающей среды, катализа. С другой стороны, на поверхности титановых имплантатов, широко применяемых в настоящее время в эндопротезировании, образуется слой диоксида титана, который взаимодействует с биологическими жидкостями.

Известно, что появление заряда на поверхности оксидов в результате взаимодействия с протонами водного раствора приводит к образованию двойного электрического слоя между раствором электролита и поверхностью оксида, влияет на реакции комплексообразования с неорганическими и органическими молекулами. Для описания связывания протонов активными группами поверхности оксидов успешно применяются модели комплексообразования на поверхности [9 – 11]. В любом случае исследованиям адсорбционных взаимодействий растворенных в воде органических или

неорганических веществ должно предшествовать детальное изучение протолитических свойств поверхностных групп оксида.

### Экспериментальная часть

В работе использовали нанокристаллический порошок диоксида титана (nanopowder, Aldrich) с удельной поверхностью  $62 \pm 5 \text{ м}^2/\text{г}$  (Nova 1200, Quantachrome). По данным рентгенофазового анализа (дифрактометр ДРОН-3М) в соответствии с базой данных JCPDS Database (International Center for Diffraction Data, PA, 2001) было установлено, что образец представляет собой анатаз (карточка 84-1286). Размер кристаллитов, рассчитанный по уравнению Шеррера, составляет 30 нм.

Основания нуклеиновых кислот – аденин, гуанин, цитозин, урацил («ч.д.а.», Fluka, Швейцария) были использованы без дополнительной очистки. Для подведения рН растворов и суспензий до требуемых величин использовали стандарт-титры HCl и NaOH (Titrisol, Merck, Германия). Все растворы и суспензии были приготовлены на бидистиллированной воде.

Потенциометрическое титрование суспензий диоксида титана было проведено в термостатированном при  $20 \pm 1^\circ\text{C}$  реакторе, снабженном комбинированным электродом (SenTix81, WTW Германия), соединенным с рН-метром Inolab pH Level 2p (WTW Германия), магнитной мешалкой и трубкой для пропускания аргона. Суспензии предварительно выдерживали при перемешивании в течение 48 ч. К 25 мл суспензии с концентрацией 10 г/л на фоне 0,01, 0,05 или 0,1 моль/л NaCl добавляли 0,5 мл 0,1 М соляной кислоты, затем суспензию титровали 0,01 моль/л раствором NaOH. После каждого добавления щелочи суспензию выдерживали в течение 10 – 15 мин. Показания рН-метра считали стабильными, если в течение минуты они изменялись не больше чем на  $\pm 0,005$  единиц рН. Измеренные величины  $\text{pH} = -\lg a_{\text{H}}$  были пересчитаны на концентрации протонов,  $-\lg[H^+]$ , по уравнению

$$-\lg a_{\text{H}} = -\lg \gamma [H^+],$$

где  $a_{\text{H}}$  – активность, а  $\gamma$  – коэффициенты активности протонов для ионных сил 0,01; 0,05 и 0,1 М NaCl соответственно.

Результаты потенциометрического титрования суспензии анатаза были использованы для расчета заряда поверхности  $\sigma_0$  (Кл/м<sup>2</sup>) по уравнению

$$\sigma_0 = (F / Sm)(V_0 + V_A + V_B)([OH^-] - [H^+]) + V_A A - V_B B, \quad (1)$$

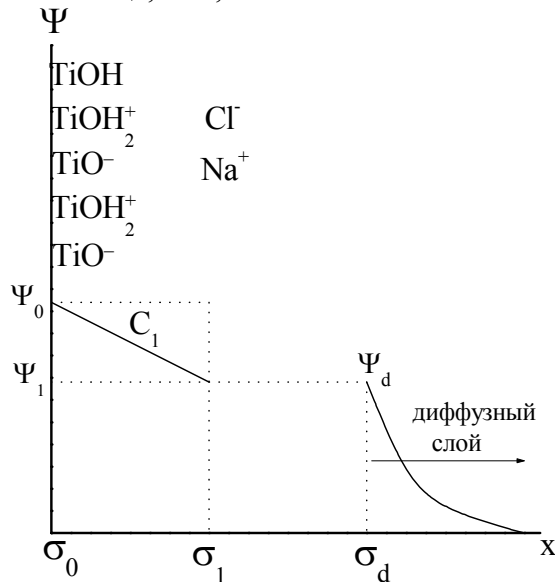
где  $F$  – постоянная Фарадея, 96485 Кл/моль,  $S$  – удельная поверхность, ( $\text{м}^2/\text{г}$ ),  $m$  – навеска диоксида титана (г) в исходном объеме суспензии  $V_0$ , взятом для титрования (л),  $V_A$ ,  $V_B$  – объемы добавленных кислоты и щелочи (л) с концентрациями А и В (моль/л) соответственно.

Для изучения зависимости адсорбции компонентов нуклеиновых кислот от рН были приготовлены серии суспензий с различными значениями рН на фоне 0,01 М NaCl, содержащие 5 г/л диоксида титана и 0,1 ммоль/л основания. Выдерживали суспензии в течение 2 ч и после проверки значения рН отделяли твердую фазу центрифугированием (8000 об/мин, 20 мин). Концентрации оснований определяли по интенсивности поглощения изученных молекул в УФ-области (спектрофотометр Specord M-40), при этом предварительно была исследована зависимость положения и интенсивности полос каждого соединения от рН. Величины адсорбции рассчитывали по разности исходной и равновесной концентраций и выражали в мкмоль/г.

### Результаты и их обсуждение

Для количественной оценки протолитических свойств диоксида титана и адсорбционных равновесий с участием органических молекул была использована

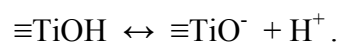
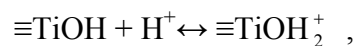
основная модель поверхностного комплексообразования Штерна [12]. Схематически строение двойного электрического слоя (ДЭС) по модели Штерна представлено на рис. 1. Поверхность раздела фаз подразделяется на две плоскости: в одной из них осуществляется адсорбция потенциал-определяющих ионов (плоскость или слой 0); во второй происходит адсорбция слабо связывающихся противоионов (внутренний слой Гельмгольца, ИНР, также обозначаемый как плоскость или слой 1).



**Рис.1** Схематическое изображение строения двойного электрического слоя по основной модели Штерна на поверхности раздела фаз диоксид титана – раствор электролита ( $\Psi$  – потенциал,  $\sigma$  – заряд поверхности).

На рис. 2 представлены кривые зависимости заряда поверхности диоксида титана от pH для водных растворов с переменной концентраций фонового электролита NaCl. Кривые пересекаются в точке нулевого заряда при pH = 6,5, что хорошо согласуется с литературными данными для анатаза [13].

Согласно положениям теории комплексообразования заряд поверхности оксида изменяется в результате взаимодействия функциональных групп с протонами водного раствора, что приводит к протонированию или диссоциации этих групп:



Эти протолитические равновесия характеризуются соответствующими константами

$$K_{s1}^{\text{int}} = \frac{[\text{TiOH}_2^+]}{[\text{TiOH}][\text{H}_s^+]} \quad \text{и} \quad K_{s2}^{\text{int}} = \frac{[\text{TiO}^-][\text{H}_s^+]}{[\text{TiOH}]},$$

где  $[\text{TiOH}]$ ,  $[\text{TiOH}_2^+]$  и  $[\text{TiO}^-]$  – равновесные концентрации нейтральных, протонированных и диссоциированных гидроксильных групп поверхности (моль/л).

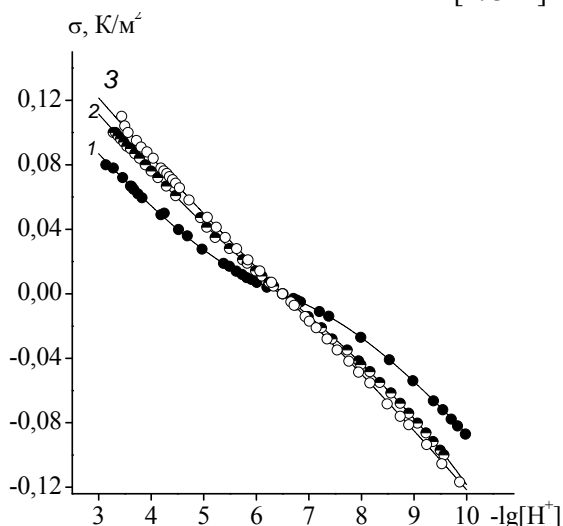
Поверхностная концентрация протонов  $\text{H}_s^+$  в слое 0 связана с концентрацией протонов в объеме раствора уравнением распределения Больцмана

$$[\text{H}_s^+] = [\text{H}^+] \exp(-F\Psi_0 / RT),$$

где  $\Psi_0$  – значение потенциала в 0-плоскости двойного электрического слоя. Отсюда:

$$K_{S1}^{int} = \frac{[TiOH_2^+]}{[TiOH][H^+]} \exp(F\Psi_0 / RT), \quad (2)$$

$$K_{S2}^{int} = \frac{[TiO^-][H^+]}{[TiOH]} \exp(-F\Psi_0 / RT). \quad (3)$$

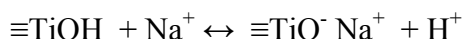


**Рис.2** Экспериментальные (символы) и рассчитанные по основной модели Штерна (линии) величины поверхностного заряда диоксида титана в зависимости от рН и ионной силы:  $C_{TiO_2} = 10$  г/л,  $C_{NaCl} = 0,01$  (1), 0,05 (2) и 0,1 М (3).

Установлено, что ионы фонового электролита образуют с поверхностными гидроксильными группами комплексы [11, 12]. Весьма вероятно, что между этими слабо сорбируемыми ионами и поверхностью расположен, как минимум, один слой молекул воды, который отделяет ионы от атомов кислорода или металла на поверхности, т.е. они образуют ионные пары или внешнесферные комплексы. Поэтому для описания протолитических свойств оксида, кроме реакций протонирования и диссоциации, необходимо учитывать реакции образования внешнесферных комплексов с ионами электролита:



$$K_{Cl^-}^{int} = \frac{[TiOH_2^+ Cl^-]}{[TiOH][H_s^+][Cl^-]} = \frac{[TiOH_2^+ Cl^-]}{[TiOH][H^+][Cl^-]} \exp\left(\frac{F(\Psi_0 - \Psi_1)}{RT}\right), \quad (4)$$



$$K_{M^+}^{int} = \frac{[TiO^- - Na^+][H_s^+]_s}{[TiOH][Na_s^+]} = \frac{[TiO^- - Na^+][H^+]}{[TiOH][Na^+]} \exp\left(\frac{F(\Psi_1 - \Psi_0)}{RT}\right). \quad (5)$$

С учетом всех реакций, протекающих на поверхности диоксида титана в присутствии водного раствора электролита, плотность поверхностного заряда может быть выражена уравнением

$$\sigma_0 = F / mS ([TiOH_2^+] + [TiOH_2^+ Cl^-] - [TiO^-] - [TiO^- Na^+]).$$

Таким образом, сравнивая величины поверхностного заряда, рассчитанные по данным потенциометрического титрования по уравнению (1), и величины, которые подбираются с использованием программы GRFIT [14], в результате последовательных приближений и подбора можно определить константы равновесия реакций протонирования-диссоциации и образования ионных пар. Наилучшее соответствие

экспериментальных данных и рассчитанных кривых зависимости заряда от pH было получено для следующего набора параметров.

1. Концентрация гидроксильных групп на поверхности 0,0003 моль/г, что соответствует плотности активных центров на единицу поверхности ~3 группы/нм<sup>2</sup>. Эта величина для различных кристаллографических граней диоксида титана оценивается как 5,2 – 7,0 группы/нм<sup>2</sup> [15], хотя обычно в экспериментальных работах определяются несколько меньшие величины порядка 2 – 4 группы/нм<sup>2</sup> [16– 18].

2. Величина удельной емкости двойного электрического слоя 0,76 Ф/м<sup>2</sup>. В работе [19] было показано, что такая небольшая величина удельной емкости вполне допустима и имеет физический смысл. По мнению авторов, это свидетельствует об относительно низкой диэлектрической проницаемости первого слоя физически сорбированной воды, которая практически не зависит от диэлектрических свойств твердого тела.

3. Константа протонирования (2)  $\lg K_{S1}^{int} = 5,2$ ;

константа диссоциации (3)  $\lg K_{S2}^{int} = -7,8$ ;

константа равновесия реакции связывания анионов (4)  $\lg K_{Cl}^{int} = 6,2$ ;

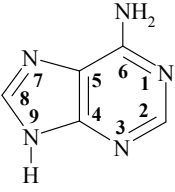
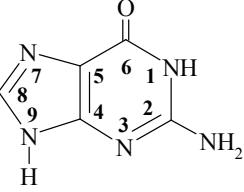
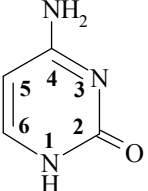
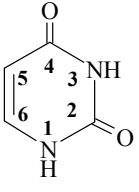
константа равновесия реакции связывания катионов (5)  $\lg K_{Na}^{int} = -6,8$ .

Кривые зависимости заряда поверхности от pH, рассчитанные с использованием указанных параметров, представлены на рис.2 сплошными линиями.

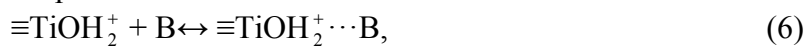
Была изучена адсорбция некоторых оснований нуклеиновых кислот: производных пурина (аденина и гуанина) и пиримидина (урацила и цитозина). Формулы и константы диссоциации оснований нуклеиновых кислот представлены в таблице 1. В водных растворах молекулы пуриновых и пиримидиновых оснований претерпевают протолитические и таутомерные превращения. Формулы оснований показаны в виде кетонных (лактамных) таутомеров, поскольку в водных растворах всех изученных соединений преобладают эти таутомерные формы [20, 21]. Константы диссоциации оснований из [22] пересчитаны на ионную силу, соответствующую раствору 0,01 М NaCl. Все изученные основания, кроме урацила, в кислой области присутствуют в виде катионов. При повышении pH до величин больше рK<sub>1</sub> эти соединения в растворе существуют в виде нейтральных молекул, которые при дальнейшем росте pH выше рK<sub>2</sub> превращаются в анионы. Молекула урацила в кислой области не протонируется, в щелочной среде (при pH ≥ 10) подвергается диссоциации с переходом из нейтральной формы в анионную.

На рис. 3 приведены величины адсорбции оснований из водного раствора 0,01 М NaCl на поверхности диоксида титана в зависимости от pH. По величине адсорбции основания располагаются в следующий ряд: гуанин > цитозин > аденин > урацил, т.е. молекулы, в состав которых входят одновременно амино- и кетогруппа, сорбируются в большей степени, чем содержащие только амино- или кетонную группу. Адсорбция гуанина, цитозина и аденина существенно увеличивается с ростом pH. Можно предположить, что нейтральные молекулы этих оснований сорбируются лучше, чем катионы. Это понятно, поскольку до значения pH=6,5, соответствующего точке нулевого заряда, поверхность диоксида титана заряжена преимущественно положительно. Между одноименно заряженными катионами оснований и функциональными группами поверхности проявляется электростатическое отталкивание. Существенное понижение величин адсорбции гуанина и аденина при pH > 8 можно объяснить образованием в растворе анионов, которые испытывают электростатическое отталкивание от поверхности диоксида титана, на которой в этой области pH присутствуют диссоциированные TiO<sup>-</sup> группы. По этой же причине адсорбция урацила, величины которой практически одинаковы до pH ~ 8, несколько понижается при дальнейшем повышении pH.

**Таблица 1.** Константы равновесия реакций ионизации оснований в растворе и комплексообразования на поверхности диоксида титана (рК)

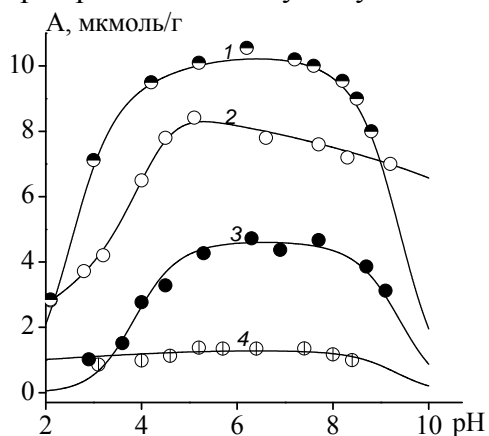
Основание	Реакция в растворе (рК <sub>1</sub> , рК <sub>2</sub> )		Реакция образования комплекса на поверхности (lgK±0,05)	
	$\text{ВН}^+ \leftrightarrow \text{В} + \text{H}^+$	$\text{В} \leftrightarrow \text{В}^- + \text{H}^+$	$\equiv\text{TiOH}\cdots\text{ВН}^+$	$\equiv\text{TiOH}\cdots\text{В}$
 аденин	3,92	9,63		2,38
 гуанин	2,20	9,38		2,76
 цитозин	4,23	12,20	3,60	2,50
 урацил		10,13		1,71

Следует отметить, что величины адсорбции всех изученных оснований не зависят от ионной силы. При увеличении концентрации фонового электролита до 0,1 М величины адсорбции цитозина и аденина остаются практически такими же, как для раствора 0,01М. Это свидетельствует об отсутствии конкуренции между катионами фонового электролита и молекулами оснований. Поскольку катионы электролита взаимодействуют с функциональными группами поверхности электростатически, можно предположить, что молекулы оснований образуют с поверхностными группами другие типы связей, например водородные или дисперсионные. Принимая во внимание состав поверхностного слоя диоксида титана, характеризующийся в зависимости от рН преобладанием нейтральных  $\text{TiOH}$  групп, протонированных  $\text{TiOH}_2^+$  или диссоциированных  $\text{TiO}^-$ , мы предположили, что на поверхности диоксида титана возможны следующие реакции комплексообразования:





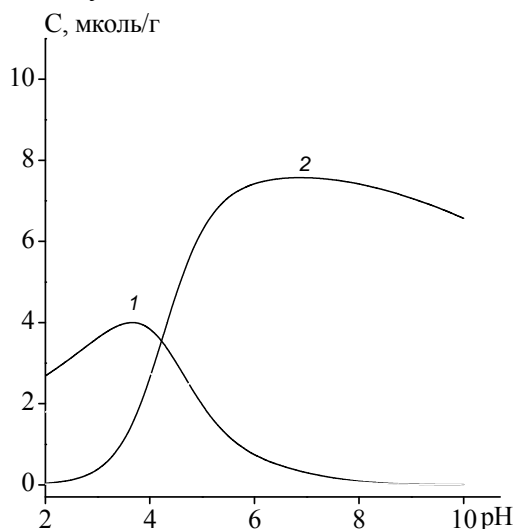
где V и  $\text{VH}^+$  – нейтральная и катионная форма молекула основания соответственно. Вероятность осуществления реакции (10) очень невелика, поскольку появление ионизированных групп на поверхности начинается при  $\text{pH} > 6,5$ , а в этих условиях в растворе практически отсутствуют катионы оснований.



**Рис. 3** Адсорбция оснований нуклеиновых кислот: гуанина (1), цитозина (2), аденина (3) и урацила (4) из раствора 0,01 M NaCl на поверхности диоксида титана. Символы – экспериментальные величины адсорбции, линии – рассчитанные адсорбционные кривые.

Константы равновесия реакций комплексообразования были рассчитаны с использованием программы GRFIT по основной модели Штерна. Оказалось, что адсорбция гуанина, аденина и урацила количественно описывается одним уравнением реакции (7), т.е. взаимодействия между нейтральной молекулой основания и нейтральной группой поверхности. Для цитозина необходимо было учитывать также реакцию комплексообразования (9) между нейтральными группами поверхности и катионом основания. Все рассчитанные константы устойчивости поверхностных комплексов оснований представлены в таблице 1.

На рис.4 представлены диаграммы распределения поверхностных комплексов цитозина в зависимости от pH. Комплексы, образованные катионными формами основания и нуклеозида, преобладают в кислой области pH, при повышении pH увеличивается доля комплексов, сформированных нейтральными формами биомолекул.



**Рис. 4.** Диаграммы распределения комплексов цитозина на поверхности диоксида титана:  $\equiv\text{TiOH} \cdots \text{VH}^+$  (1) и  $\equiv\text{TiOH} \cdots \text{V}$  (2).

## Выводы

Показано, что такие компоненты нуклеиновых кислот, как гетероциклические основания пуринового и пиримидинового ряда, адсорбируются на поверхности диоксида титана из водных растворов. Степень взаимодействия биомолекул с поверхностными группами определяется наличием функциональных групп; при этом молекулы, в состав которых входят аминные и кетонные группы, адсорбируются в большей степени, чем соединения с одним типом заместителей в гетероциклическом кольце. По-видимому, сочетание различных по природе функциональных групп в биомолекулах делает более прочными образующиеся водородные связи.

## Литература

1. Van der Velden W., Schwartz A.W. Purines and pyrimidines in sediments from lake Erie // *Science*. – 1974. – V. 185. – P. 691–693.
2. Ertem G. Montmorillonite, oligonucleotides, RNA and the origin of life // *Orig. Life Evol. Biosph.* – 2004. – V. 34. – P. 549–570.
3. Franchi M., Bramanti E., Bonzi L.M., Orioli P.L., Vettori C., Gallori E. Clay-nucleic acid complexes: characteristics and implications for the preservation of genetic materials in primeval habitats // *Orig. Life Evol. Biosph.* – 1999. – V. 29. – P. 297–315.
4. Scappini F., Casadei F., Zamboni R., Franchi M., Gallori E., Monti S. Protective effect of clay minerals on adsorbed nucleic acid against UV radiation: possible role in the origin of life // *Int. J. Astrobiology*. – 2004. – V. 3. – P. 17–19.
5. Hazen R.M., Sverjensky D.A. Mineral surfaces, geochemical complexities, and the origins of life // *Cold Spring Harb. Respect. Biol.* doi: 10.1101/cshperspect.a002162
6. Arora A.K., Kamaluddin Interaction of ribose nucleotides with zinc oxide and relevance in chemical evolution // *Colloids Surf. A. Physicochem. Eng. Asp.* – 2007. – V. 298. – P. 186–191.
7. Arora A.K., Kamaluddin Role of metal oxides in chemical evolution: Interaction of ribose nucleotides with alumina // *Astrobiology*. – 2009. – V.9, № 2. – P.165–171.
8. Cleaves H.J., Jonsson C.M., Jonsson C.L., Sverjensky D.A., Hazen R.M. Adsorption of nucleic acid components on rutile (TiO<sub>2</sub>) surfaces // *Astrobiology*. – 2010. – V.10, № 3. – P. 311–323.
9. Schindler P.W., Stumm W. The Surface Chemistry of Oxides, Hydroxides, and Oxide Minerals. In *Aquatic Surface Chemistry*. W. Stumm (Ed.) –New York: Wiley, 1987. – P. 83–110.
10. Dzombak D.A., Morel F.M.M. Surface Complexation Modeling: Hydrous Ferric Oxides. – New York: Wiley, 1990. – 393 p.
11. Davis J.A., Kent D.B. Surface complexation modeling in aqueous geochemistry // *Rev. Mineralog.* – 1990. – V. 23. – P.177–260.
12. Westall J.C., Hohl H., A comparison of electrostatic models for the oxide/ solution interface // *Adv. Colloid Interface Sci.* – 1980. – V. 12. – P. 265–294.
13. Kosmulski M. Chemical properties of material surfaces. – New-York – Basel: Marcel Dekker, 2001. – 780 p.
14. Ludwig Chr. GRFIT, a Program for Solving Speciation Problems, Evaluation of Equilibrium Constants, Concentrations, and Other Physical Parameters. Internal Report of University of Bern, 1992.
15. Hiemstra T., Venema P., Van Riemsdijk W.H. Intrinsic proton affinity of reactive surface groups of metal (hydr)oxides: the bond valence principle // *J. Colloid Interface Sci.* – 1996. – V. 184. – P. 680–692.



16. Van Veen R.J.A., Veltmaat F.T.G., Jonkers G. A method of quantitative determination of the basic, acidic, and total surface hydroxy content of TiO<sub>2</sub> // J. Chem Soc. Chem. Commun. – 1985. – P.1666–1658.
17. Ludwig Chr., Schindler P.W. Surface complexation on TiO<sub>2</sub> I. Adsorption of H<sup>+</sup> and Cu<sup>2+</sup> ions onto TiO<sub>2</sub> (anatase) //J. Colloid Interface Sci. – 1995. –V. 169. – P. 284–290.
18. Rodriguez R., Blesa M.A., Regazzoni A.E. Surface complexation at the TiO<sub>2</sub> (anatase)/aqueous solution interface: chemisorptions of catechol // J. Colloid Interface Sci. – 1996. – V. 177. – P. 122–131.
19. Bourikas K., Hiemstra T., Van Riemsdijk W.H. Ion pair formation and primary charging behavior of titanium oxide (anatase and rutile) // Langmuir. – 2001. – V. 17, № 3. – P.749–756.
20. Зенгер В. Принципы структурной организации нуклеиновых кислот. – Москва: Мир, 1987. – 584 с.
21. Морозов Ю.В., Бажулина Н.П. Электронное строение, спектроскопия и реакционная способность молекул. – Москва: Наука, 1989. – 288 с.
22. Яцимирский К.Б., Крисс Е.Е., Гвяздовская В.Л. Константы устойчивости комплексов биометаллов с лигандами. Справочник. – Киев: Наукова думка, 1979. – 228 с.

### **ADSORPTION OF NUCLEIC BASES ON THE NANOCRYSTALLINE TITANIA SURFACE**

**N.N. Vlasova, L.P. Golovkova, O.V. Markitan, N.G. Stukalina**

*Chuiko Institute of Surface Chemistry of National Academy of Sciences of Ukraine,  
17 General Naumov Str. Kyiv, 03164, Ukraine, e-mail: natalie.vlasova@gmail.com*

*The adsorption of nucleic bases at the titania/aqueous solution interface is considered in terms of surface complex formation theory. The equilibrium constants of acid-base reactions of hydroxyl groups of titania and surface complex formation constants of biomolecules are calculated.*

### **АДСОРБЦІЯ ОСНОВ НУКЛЕЇНОВИХ КИСЛОТ НА ПОВЕРХНІ НАНОКРИСТАЛІЧНОГО ДІОКСИДУ ТИТАНУ**

**Н.М. Власова, Л.П. Головкова, О.В. Маркітан, Н.Г. Стукаліна**

*Інститут хімії поверхні ім. О.О. Чуйка Національної академії наук України,  
вул. Генерала Наумова, 17, Київ, 03164, Україна, e-mail: natalie.vlasova@gmail.com*

*Адсорбцію основ нуклеїнових кислот на поверхні розділу фаз діоксид титану – водний розчин електроліту розглянуто з точки зору теорії комплексоутворення на поверхні. Розраховані константи рівноваги кислотно-основних реакцій гідроксильних груп діоксиду титану та константи утворення поверхневих комплексів біомолекул.*