

РЕЦЕНЗИЯ

по конкурса за получаване на научното звание „Доцент” за нуждите на лаборатория „Преносни процеси в многофазни среди” към Институт по инженерна химия, БАН

Рецензент: доц. д-р Колишка Цекова, Институт по микробиология „Стефан Ангелов” – БАН

На 08. 07. 2014 г. в Държавен вестник бр. 56 е обявен конкурс за „Доцент” за нуждите на лаборатория „Преносни процеси в многофазни среди” към Институт по инженерна химия – БАН. На този конкурс се явява единствен кандидат д-р **Максим Иванов Боянов**, асистент в същата лаборатория.

ПЕРСОНАЛНИ ДАННИ ЗА КАНДИДАТА

Максим Иванов Боянов е роден на 22. 02. 1973 г. в гр. София. През 1989 г. завършва средното си образование в Английска езикова гимназия – София, а през 1990 г. и гимназия „Мария Кюри” в гр. Чикаго, САЩ. През 1990 – 1991 г. е студент по физика в Илинойския технологичен институт в гр. Чикаго, щат Илинойс, САЩ. През 1995 г. завършва висшето си образование във Физическия факултет на СУ „Св. Климент Охридски”, специалност физика, със специализация „Физика на твърдото тяло и микроелектроника”. От 1997 до 2003 г. е аспирант в университета на Нотре Дам, щат Индиана, САЩ в Катедра по физика на кондензираната материя. На 18. 03. 2003 г. получава образователната и научна степен „Доктор” по дисертационна тема: „Определяне атомната структура на повърхностни и обемни метал-органични комплекси чрез рентгенова спектроскопия”. От 2003 до 2006 г. е специализант в Института по екологични изследвания към Национална изследователска лаборатория в Аргон, щат Илинойс, след което специализира една година в Институт по молекулярна екология, Инженерен факултет по екологични науки, Университет Нотре Дам, щат Индиана, САЩ.

Научно-изследователската му работа е свързана с изследване на адсорбцията на солватиран Cd към повърхностите на клетки чрез рентгенова спектроскопия. От март 2007 до февруари 2014 г. работи последователно като физик в Лаборатория по инженерна химична физика към Химически факултет на СУ, главен асистент в катедра „Физика на твърдото тяло и микроелектроника” към Физическия факултет на СУ и щатен физик в Лаборатория по молекулярна екология към Институт по биология в щат Илинойс, САЩ. От февруари 2014 г. до сега е асистент в лаборатория „Преносни процеси в многофазни

среди” към Института по инженерна химия, БАН. Има около 18 г. научен стаж по специалността на обявения конкурс.

МАТЕРИАЛИ, ПРЕДСТАВЕНИ ЗА РЕЦЕНЗИРАНЕ

За настоящия конкурс, асистент Максим Боянов представя 25 научни труда, от които 4 научни статии са включени в дисертацията и не подлежат на рецензиране. Всички научни трудове са на английски език и са отпечатане в реномирани журналы, като например Plos Biology (IF = 14,101), Chemistry of Materials (IF = 6,400), Environmental Science Technology (IF = 5,398), Geochimica et Cosmochimica Acta (IF = 4,385) и други, като само 4 статии са публикувани в международни журналы без импакт фактор. Освен тези научни труда, кандидатът представя участие в 25 изнесени доклада на международни конференции по покана, на 6 от които е представящ автор, 10 доклада изнесени на семинари по покана, от които на 3 доклада е представящ автор и 95 доклада на конференции, от които на 22 доклада е представящ автор. Общият импакт фактор на д-р Боянов е 78,91, а броят на цитиранията на научните трудове е 690.

Д-р Боянов е на първо място в 5 статии, на второ – в 6 статии и на трето и следващо място в 14 статии. Високият импакт фактор и внушителният брой цитирания на научните трудове на кандидата ми дава основание да считам, че представените научни разработки са получили и сериозна чуждестранна оценка.

ХАРАКТЕРИСТИКА НА НАУЧНО-ИЗСЛЕДОВАТЕЛСКАТА И НАУЧНО-ПРИЛОЖНАТА ДЕЙНОСТ НА КАНДИДАТА

Както е известно, проблемите свързани с опазване на околната среда чрез овладяване на отпадните продукти от човешките дейности, с цел запазване чистотата на природните ресурси (почви, подпочвени и повърхностни води, атмосфера), са едни от най-сериозните в съвременния свят.

Антропогенното замърсяване се балансира от естествените процеси на „разсейване” на замърсителите, свързани с кръговрата на елементите. През последните десетилетия, поради експоненциалното нарастване на населението на земята и промени в начина ни на живот, този баланс се нарушава във все по-голяма степен. В тази връзка, разработката и прилагането на съвременни технологични решения за предотвратяване на бъдещи екологични катастрофи, изисква задълбочено детайлно познаване и моделиране

на взаимносвързаните химични, физични и биологични процеси, които влияят и контролират кръговрата на веществата, елементите и замърсителите в природата. Това обуславя и наблюдаваното бурно развитие през последните 2 – 3 десетилетия на интердисциплинарни области в науката каквато е биогеохимията, която изучава факторите, влияещи на „движението” в природата, както на основните елементи (C, Fe, S), така също и на микроелементите (Cu, Zn, Mo) и на замърсителите (Cr, Cd, Pb, U, As, Te).

Изследванията на д-р Боянов са именно в областта на молекулярната биогеохимия, като се акцентира върху някои силно токсични тежки метали и радиоактивни замърсители, а именно Cd, Cr, Pb и U Актуалността, перспективността и голямото значение на научното направление са безспорни.

Основна част от изследванията на кандидата (статии № 7, 9, 11, 13 и 20) са свързани с изучаването на механизмите на биосорбция на Cd и U. Известно е, че микробните клетъчни стени и мембрани съдържат в състава на изграждащите ги биополимери редица функционални групи, чрез които се осъществява адсорбцията на разтворени многовалентни метални йони на повърхностните структури на клетката. Това определя и използването на отпадна микробна биомаса за очистване на индустриални отпадни води, както и интереса към изучаване на механизмите на адсорбционните процеси върху биологични повърхности. На базата на предварителни макроскопски изследвания върху бактериални суспензии на *Bacillus subtilis* и построяване на адсорбционни изотерми на Cd и U е разработен адсорбционен модел, според който фосфатните групи от състава на бактериалната повърхност са отговорни за адсорбцията при кисели стойности на рН, а карбоксилните групи участват като лиганди при неутрално и алкално рН. Чрез синхротронна рентгенова спектроскопия EXAFS са определени основните групи, отговорни за адсорбцията на Cd и U при различните стойности на рН, както и молекулярните структури на свързване между лигандите и металните йони. При използван сорбент *Bacillus subtilis*, е установено че адсорбцията на U при кисело рН се осъществява чрез свързване на йоните с фосфатни групи, а при неутрално рН – с карбоксилни групи, докато Cd се адсорбира с участието на карбоксилни групи при киселинно рН и с фосфатни групи при по-високи стойности на рН на средата. Чрез използване на експериментално определените междуатомни разстояния и структура на комплексите е коригиран адсорбционния модел, изведен на база на макроскопските изследвания и са предоставени параметри за подобряване на квантово-химичните изследвания на силата на връзките и структурата на адсорбционните комплекси. Тези изследвания имат оригинален характер, тъй като са едни от първите в тази научна област. Поучените резултати демонстрират възможността за изучаване на молекулярни структури при ниски концентрации на замърсители в хидратирани образци и доказват успешното приложение на рентгеновата спектроскопия EXAFS в екологичните изследвания.

Други изследвания на д-р Максим Боянов се отнасят да адсорбция на метали, но са свързани с изучаването на механизмите на биоминерализация, когато биологичната повърхност се използва като "шаблон", върху който да започне растеж на кристали от разтвор, с форма и морфология, различна от тази определена от началната структура. Началният процес на кристализация върху биологична повърхност, върху която се образуват кристални зародиши и се оформя морфологията на кристала не е добре изучен, но е от голям интерес при разработване на технологии за получаване на нови материали. Работа № 14 от списъка е посветена на образуването на железни оксиди в цитоплазмата на бактерии. С помощта на рентгенова флуоресценция, авторите успяват да установят разпределението на химичните елементи в клетките на *Shewanella oneidensis* и да констатират, че образуваните минерали са железни оксиди. Авторите правят предположението, че тези минерали, притежаващи редуциционно–окислителна способност играят важна роля в анаеробния метаболизъм на микробните клетки. Същата техника е използвана и за формиране на наночастици от U извън бактериални клетки. Чрез корелация на данни, отнасящи се до елементи, типични за биологични клетки (P, S, Cl) и концентрацията на U в образеца, авторите предполагат, че формирането на уранови наночастици е резултат от взаимодействие на разтворения уран с клетъчни биологични нишки. Чрез използване на биомаркери и електронна микроскопия е потвърдена асоциацията на урановите наночастици с външноклетъчни бактериални нишки, което изяснява механизма на образуването им. Тези значими резултати са публикувани в списание PloS Biology (статия № 15) с импакт фактор 14,1 и към момента са намерени 105 цитата.

Известно е, че кръговрата на C в природата и разграждането на разтворени органични вещества в безкислородни подпочвени системи се осъществява чрез редуциционно–окислителни процеси, водещи до окисление на C до CO₂, което се извършва от анаеробни бактерии, каквито са сулфат редуциращите бактерии, които същевременно редуцират окислени метали (Fe³⁺, Mn⁴⁺) или S (SO₄²⁻). В резултат на това се създават редуциращи условия в средата, което оказва влияние върху транспорта на метални, металоидни и радиоактивни йони от замърсители. Тези промени в свойствата на замърсителите, които се дължат на промени във валентното им състояние, могат да се използват за разработване на *in situ* биотехнологии за почистването им от подпочвени води. За създаване на успешни биотехнологии за биоремедиация на тези замърсители е необходимо да се изследват факторите, влияещи върху образуването на продукта на редуциционно–окислителната реакция. Преобладаващата част от следващите изследвания на кандидата са свързани именно с изследвания на редуциционно–окислителни процеси, както в лабораторни, така също и в подпочвени образци, взети от замърсени с уран обекти за производство на ядрено гориво.

Една от първите работи по изучаване на редукционно-окислителни процеси, в която участва кандидатата, е посветена на биологичните механизми на отделяне на Cr^{6+} от разтвор (статия № 21). Чрез директно измерване на валентността на Cr в хидратираната биомаса на бактериални видове *Bacillus subtilis*, *Sporosarcina ureae* и *Shewanella putrefaciens*, авторите успяват да покажат, че дори при липса на хранителни вещества в разтвора, изследваните видове бактериални клетки успяват да редуцират силно токсичната форма Cr^{6+} до Cr^{3+} , която форма на хром е сравнително безопасна и в малки количества служи като хранителна добавка.

Следващите работи по тази тема са по проекти, свързани с изследване на биологична и химична редукция на разтворимия във вода U^{6+} до U^{4+} , който при неутрално рН е практически неразтворим във вода. Това свойство на урана е в основата на разработваните *in situ* биотехнологии за забавяне на разпространението на замърсителя в подпочвени води, като се сондира земята напречно на посоката на потока и се инжектират разтворени електронни донори. По този начин се стимулира развитието на микробиологичната общност в средата, което създава условия за редукция на замърсителя. Създадените редуциращи условия влияят и на главните елементи в средата (Fe, S, Mn и др.), като е необходимо да се вземат предвид взаимодействията на редуцираните форми на тези елементи със замърсителя. В този аспект кандидатът изготвя и първата си цялостна работа, като активно участва във всичките ѝ етапи: от идеята, до дизайна на експеримента, самия експеримент, анализа на резултатите и оформянето на статията (№ 10 в списъка). Тази работа изследва механизма на редукция – окисление между разтворени желязо и уран близо до повърхността. Използват полимерни микросфери с карбоксилни групи като модел на биологична повърхност и добавят различни комбинации от Fe^{2+} и U^{6+} и лиганди, при различни условия. Чрез макроскопски и спектроскопски методи установяват, че пренос на електрони между Fe^{2+} и U^{6+} се осъществява само при условия, при които Fe^{2+} полимеризира на повърхността и се създават връзки от типа Fe-OH-Fe.

В статия № 4 от списъка, д-р Боянов в колектив задълбочават изследванията си по редукция на U^{6+} до U^{4+} , като използват модел *Desulfitobacterium sp.*, изолиран от почвата на бивш производствен комплекс за уран и установяват, че полученият продукт не е очакваният термодинамично най-стабилен и най-неразтворим UO_2 , а адсорбиран U^{4+} , което показва, че редуцираният уран остава във форма, която не се отчита в моделите за пренос. Работата е от голям научен интерес и е цитирана 56 пъти, въпреки че е сравнително скоро публикувана (2010 г.) в списание Environm. Sci. Technol. В две следващи работи д-р Боянов, в сътрудничество с колеги от други университети, изследват и определят формата на U в биологична система от значение за подпочвени води (статия № 2) и в суспензии от фино-силикатния материал chlogite, участващ в състава на почви (статия № 1). Получените резултати изясняват механизмите, определящи поведението на U в двете системи и имат значение за моделирането на преноса на U в комплексни

подпочвени среди и са добре цитирани от други автори с 24 и 7 цитата, съответно, въпреки скорошното им публикуване (2011 г.).

Интерес представляват и изследванията на кандидата в областта на синхротронната рентгенова спектроскопия (публикации № 3 и 23). Макар и непряко свързани с основната тематика, по която д-р Боянов работи, те са значими и определят молекулярната структура на метали в сферични наночастици тип ядро-обвивки (Au/Ag, Ag/Fe). Интересът към такъв тип материали в суспензия се дължи на каталитичните и електронните им свойства, дължащи се на малките размери на частиците, което дава възможност да се контролират свойствата чрез размера на частиците.

УЧЕБНО-ПРЕПОДАВАТЕЛСКА ДЕЙНОСТ НА КАНДИДАТА

Като главен асистент в катедра „Физика на твърдото тяло в периода юли 2007 – декември 2008 г. д-р Боянов е изнасял лекции по дисциплините: Радиохимия, Експериментални методи във физиката и Повърхностни явления в дисперсни системи към Физически факултет на СУ „Св. Климент Охридски“. Също така, кандидатът е водил упражнения на студенти по Електричество и магнетизъм, Информационна теория и приложения, Сканираща електронна микроскопия за не-физици и Числени методи.

В периода февруари 2009 – октомври 2010 г. д-р Боянов е бил съръководител на докторант на тема: „Изследване на хетерогенни редукционно–окислителни реакции между Fe^{2+} и Fe^{3+} и уран към Национална лаборатория Аргон, САЩ.

От април 2011 до януари 2014 г. кандидатът е бил ръководител на аспирант на тема: „Изследване на молекулярната структура и стабилност на адсорбиран уран при редукцията му в подпочвени системи“ към Национална лаборатория Арагон, САЩ.

РЪКОВОДСТВО И УЧАСТИЕ В ПРОЕКТИ

Д-р Боянов е бил ръководител на съвместен договор между СУ „Св. Климент Охридски“ и Националната лаборатория в Аргон (август 2007 – юли 2010 г.) и съръководител на 2 проекта „Подпочвени биогеохимични процеси“, финансирани от Департамента по енергия на САЩ (октомври 2009 – февруари 2014 г.).

ОСНОВНИ НАУЧНИ И НАУЧНО-ПРИЛОЖНИ ПРИНОСИ

1. Определени са основните функционални групи, отговорни за адсорбцията на Cd и U на бактериални клетъчни стени при различно рН, както и молекулярните структури на свързване между метала и лиганда (междуатомни разстояния, хидратационна обвивка, брой свързани лиганди от съответния вид към всеки йон). На тази база са предоставени данни, както за коригиране на адсорбционния модел, изведен въз основа на макроскопичните изследвания, а така също и за подобряване на квантово – химичните изчисления на силата на връзките и структурата на адсорбционните комплекси. Приносът има оригинален характер.
2. Установено е образуването на хоризонтални ковалентни връзки между Pb^{2+} , вече адсорбиран от разтвор на оловен двухлорид вертикално към карбоксилните групи на мастен слой (Лангмюировеи слой от C_{21} мастна киселина) и е доказано, че образуването на тримери от Pb^{2+} води до понижаване на отблъскването между молекулите на ПАВ и обяснява механизма, обуславящ твърдостта и намаленото повърхностно напрежение на слоя.
3. Установено е за първи път, че редукцията на U^{6+} до U^{4+} от бактерия, изолирана от почва край бивш производствен комплекс за уран (*Desulfitobacterium sp.*) води до получаване на продукт, различен от очаквания термодинамично най-стабилен и най-неразтворим UO_2 , а до адсорбиран U^{4+} . Приносът е оригинален.
4. Установено е за първи път, че редукцията на U^{6+} до U^{4+} от бактерия, изолирана от почва край бивш производствен комплекс за уран (*Desulfitobacterium sp.*) води до получаване на продукт, различен от очаквания термодинамично най-стабилен и най-неразтворим UO_2 , а до адсорбиран U^{4+} . Приносът е оригинален.
5. Доказано е за първи път наличието на вътреклетъчни гранули, съдържащи Fe^{3+} и Fe^{2+} йони, образувани в бактериални клетки. Като моделни микроорганизми са използвани Грам-положителната бактерия *Bacillus subtilis*, Грам-отрицателната бактерия *Shewanella oneidensis* и смесена култура от двата бактериални вида.
6. Установено е образуването на асоциация от уранови наночастици с външно-клетъчни бактериални нишки на *Shewanella oneidensis* в резултат от взаимодействието на разтворения уран с бактериалните нишки

7. Установена е редукция на Cr^{6+} до Cr^{3+} от неметаболизиращи клетки на *Bacillus subtilis*, *Sporosarcina ureae* и *Shewanella putrefaciens* в отсъствие на електронни донори от средата. Всеки от бактериалните видове е способен да отстранява значителни количества на Cr^{6+} от разтвора, като редукционния процес е строго зависим от рН. Кинетиката на редукционния процес включва двустадиен процес: начално бързо извличане, последвано от по-бавен процес, следващ кинетика на реакция от първи порядък.
8. Доказана е възможност за ново приложение на рентгеновата спектроскопия EXAFS в екологичните изследвания за изучаване на молекулярни структури при ниски концентрации на замърсителя в хидратирани образци.
9. Определена е молекулярната структура на метали в сферични наночастички тип ядро – обвивка: Au/Ag и Ag/Fe. Тези структурни резултати обясняват свойствата и дават насока за това как да се контролира структурата или размерът им.

ПРЕПОРЪКА ЗА БЪДЕЩА РАБОТА НА КАНДИДАТА

В порядък на препоръка за бъдеща работа на кандидата искам да отбележа следното:

Да се продължат и задълбочат изследванията, насочени към изясняване на механизмите на реакции от значение, както за фундаменталното разбиране на протичащи процеси на границата разтвор – минерал, разтвор – биологична повърхност, така също и за разработване на инженерни методи за очистване на почви и води, съдържащи антропогенни замърсители.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Д-р Максим Боянов е утвърден учен и преподавател в научната област, по която е обявен конкурс. Научните му разработки съдържат съществени оригинални и потвърдителни, както научни, така също и научно – приложни приноси, някои от които могат да бъдат полезни след внедряване у нас за очистване на води и почви от неорганични замърсители. Свидетелства за значимостта на постигнатите резултати от

изследванията с участието на кандидата са високата цитируемост на публикациите и спечелените проекти за изучаване на тези процеси.

Кандидатът и представените за конкурса материали надвишават многократно критериите за качество и количество на научно – изследователска и приложна дейност и са в съответствие със **Закона за развитие на академичния състав в Република България** за присъждане на научното звание „Доцент”. Въз основа на направения анализ, с убеденост препоръчвам на членовете на **Научното жури** да гласуват за присъждане на научното звание „Доцент” на **д-р Максим Боян**

12. 11. 2014 г.

София

Рецензент:



(доц., д-р Колишка Цекова)