

КРАТКО ОПИСАНИЕ НА НАЙ-ВАЖНИТЕ НАУЧНИ ПРИНОСИ В ТРУДОВЕТЕ НА ПРОФ. ДГН СТАНИСЛАВ ВАСИЛЕВ ВАСИЛЕВ И ТЯХНОТО ПРИЛОЖНО ЗНАЧЕНИЕ

(номерата на трудовете са от „Списък на избрани научни трудове за участие в конкурса“)

Пълен списък на публикуваните до момента 106 научни труда е представен в хронологичен ред на тяхното публикуване в „Списък на научните трудове за целия творчески период“ (Приложение 1). Те са цитирани 7863 пъти. От тях за участие в конкурса са подбрани 60 работи в „Списък на избрани научни трудове за участие в конкурса“ (Приложение 2), които отразяват най-съществените научни постижения на кандидата. Те са публикувани в реномирани международни (58 броя) и български (2 броя) списания с импакт фактор (Fuel, Energy and Fuels, Fuel Processing Technology, Energy Conversion and Management, ACS Omega, International Journal of Coal Geology, Applied Geochemistry, Energy Sources, Journal of the Energy Institute, и Comptes rendus de l'Academie Bulgare des Sciences). Публикациите са намерили широк отзвук в световната научната литература като са цитирани 7720 пъти, от които 6853 - в международни списания и патенти. 33 от тези 60 публикации влизат в класацията на Scopus за Топ 10% за най-цитирани статии в съответната научна област. 5 броя публикации (№ 4, 33, 37, 40-41) от избраните за конкурса публикации попадат в „Списъка на най-цитираните 211 публикации на БАН до 01.06.2020 г.“ Хирш-индексът на проф. Василев е 37, базиран на 62 публикации в Scopus. Според рейтинг на Станфордския университет за 2020 г. той е един от 49те българи (съответно 25 в БАН), които са сред първите 2% на учените в света.

Научните приноси на кандидата са в областта на минералогията, геохимията и устойчивото оползотворяване на твърди горива и отпадъчни продукти от тяхната термохимична преработка. За първи път в световен аспект проф. Василев използва собствен оригинален, систематичен и генетичен подход, чрез който детайлно установява състава и свойствата на неорганичното вещество на твърди горива (въглища, биомаса, твърди битови отпадъци, петролен кокс) и твърди отпадъчни продукти от тяхното изгаряне, газификация и пиролиза (пепели, сгурии, шлаки и кокс) от десетки находища, ТЕЦ и промишлени инсталации у нас и в чужбина. Тези фундаментални изследвания върху състава и свойствата на твърдите горива и техните продукти представляват научна основа за тяхното иновативно, комплексно, безотпадно и екологосъобразно оползотворяване.

Кратки сведения за приносите в публикациите по тематични групи

По тематика и област на приложение основните приноси могат да се класифицират в 4 групи, които са описани по-долу заедно с броя публикации и цитати в съответната група. За всяка група е формулиран накратко най-важният научен принос и са дадени номерата на публикациите, които съответстват на номерацията на научните

трудове от „Списък на избрани научни трудове за участие в конкурса“ (Приложение 2). Някои публикации попадат в повече от една група, тъй като генетичния подход при изследванията налага свързаност на няколко проблема в една и съща публикация.

1. Фазово-минераложки и химичен състав на твърди горива и отпадъчни продукти от термохимичната им преработка (статии № 1-16, 18, 20, 24, 27-28, 30-31, 34, 37-38, 40, 44, 46, 48-50, 52, 55, 58).

Общ брой научни публикации: 35

Брой забелязани цитати: 4943

Основен принос 1. *Разкрити са нови факти и зависимости с принос към фундаменталното познание за фазово-минераложкия състав и геохимичните характеристики на твърди горива (въглища, биомаса, петролен кокс, кокс от твърди битови отпадъци) и твърди отпадъчни продукти (ТОП) от термохимичната им преработка (пепели, сгурии, шлаки), което от своя страна е научна основа за тяхното иновативно, комплексно, безотпадъчно и екологосъобразно оползотворяване.*

По важните научни резултати по тази тема могат да се резюмират както следва:

1.1. Установен е **фазово-минераложкият и химичен състав** на: (1) *въглища* от 54 находища в България и чужбина (Австралия, САЩ, Канада, Япония, Испания, Турция, Украйна, Китай, Южна Африка и Русия); (2) *биомаса* от 86 природни и техногенни групи; (3) *пепели от изгаряне на въглища* в 16 ТЕЦ (България, Испания, Турция); (4) *лабораторни пепели от изгаряне на биомаса* (141 типа); (5) *кокс*, получен чрез пиролиза на твърди битови отпадъци от френска промишлена инсталация; (6) *петролен кокс и отпадъчни продукти* от изгарянето на петролен кокс и мазут в сирийски ТЕЦ, а именно:

1.1.1. Идентифицирани са над 126 минерални вида и/или групи минерали и неорганични фази, като 73 от тези минерали/фази са описани за първи път в световната литература за *горюемите обекти на изследване*. Установени са съдържанията, формите на присъствие и генезиса на идентифицираните минерали и неорганични фази в изследваните горива и техните ТОП (статии № 1, 3, 5, 7, 10, 14-16, 20, 24, 27, 34, 38, 40, 49-50). Систематизирани са и е направена критична оценка на най-често използваните на настоящия етап методи за характеризиране на неорганичното вещество във въглищата и пепелите от ТЕЦ (статии № 18, 28).

1.1.2. Доказани са значими корелации между фазовите и химични характеристики на изследваните *въглища и въглищни пепели* като са изяснени зависимостите между неорганичния състав на въглищата и техния ранг, пепелно съдържание и температурата на стапяне на въглищната пепел (статии № 4, 6, 8), както и водещите фазови и химични значими корелации и асоциации за изследваните видове природна биомаса (статия № 40). Изведените зависимости имат важно практическо значение при избора на подходящия тип гориво за конкретен тип инсталации. Показано е, че минералният състав на горивата може да се използва като параметър за тяхната

оценка, който дава по-реална представа за тяхното поведение при термохимичната им преработка в сравнение с химичния им състав (статии № 4, 58), каквато е била практиката дотогава.

1.1.3. За първи път в световен аспект е установен фазово-минералогичният и химичен състав на *коков продукт (RDF)*, получен чрез пиролиза на *твърди битови отпадъци* (статии № 11-13). На базата на тези изследвания са предложени технологични решения за екологосъобразното оползотворяване на RDF чрез инертизиране на токсичните тежки метали посредством: разделно събиране, сепарационни процедури с извличане на хлоридни и сулфатни съединения на тези метали от отпадъците и коковите им продукти още преди тяхната пиролиза и изгаряне, респективно. Предложената технология се използва при третиране на твърдите битови отпадъци във Франция, Белгия и други страни (информация на проф. Colette Braekman-Danheux и проф. Andre Fontana от University Libre de Bruxelles, Белгия).

1.1.4. Характеризирани са фазовият и химичен състав, както и термичното поведение на *петролен кокс и отпадъчни продукти от изгарянето на петролен кокс и мазут* в сирийски ТЕЦ. Доказано е, че тези продукти са перспективен източник за извличане на редица стратегически и ценни елементи като V, Ni, Zn, Mo, Cr и Co (статии № 38, 49).

1.2. Установени са **геохимичните особености** на изследваните въглища, биомаса и техни твърди отпадъчни продукти с цел екологосъобразното им оползотворяване, а именно:

1.2.1. Съдържанията, тенденциите за концентрация и формите на присъствие на 73 химични елемента във *въглища от редица находища и техните пепели*, както и на 67 елемента в *ТОП от различни ТЕЦ* в България и чужбина са установени. Обяснени са механизмите за фракционирането, летливостта, кондензацията, улавянето и инертизацията на елементите по време на изгарянето на въглища в ТЕЦ като са посочени потенциалните технологични и екологични проблеми при изгарянето на въглища (статии № 2-3, 9-10, 14-16, 30-31).

1.2.2. Установени са съдържанията и асоциациите на 60 главни, второстепенни, редки, разсеяни и редкоземни елемента в 8 типа *пепели от биомаса*, като са посочени значимите екологични предизвикателства, свързани с концентрациите, формите на присъствие и летливостта на тези елементи при преработка на биомасата (статии № 46, 55). Изяснено е значението на пепелното съдържание и концентрациите на пепелообразуващите елементи в разнообразни видове *биомаса* с цел бъдещата им безпроблемна термохимична преработка (статии № 37, 52).

1.2.3. Създадена е методика за количествен мултиелементен рентгено-флуоресцентен анализ на различни типове *биомаса* като перспективна експресна аналитична техника за качествена оценка на пепелообразуващите елементи при решаване на проблеми в преработващите инсталации или на пазара на биомаса (статии № 44, 48).

2. Комбинирани химични и фазово-минераложки класификации на неорганичния състав на въглища, биомаса и техните пепели (публикации № 33, 35-37, 40-42, 47, 54, 57).

Общ брой научни публикации: 10

Брой забелязани цитати: 3792

Основен принос 2. *Създадени са, за първи път в световен аспект, комбинирани химични и фазово-минераложки класификации, базирани се на генетичен подход, които типизират неорганичния състав на въглищата, биомасата и техните пепели. Тези класификации имат важно практическо приложение в индустрията и екологията.*

По важните научни резултати по тази тема могат да се резюмират както следва:

2.1. Създадени са за първи път комбинирани химични и фазово-минераложки класификации на неорганичното вещество на *въглища, лабораторни въглищни пепели и пепели от ТЕЦ*. Данните доказаха, че редица технологични проблеми, екологични рискове и здравни проблеми при употребата на въглища и пепели от ТЕЦ, са свързани директно или индиректно със специфични минерални и химични типове и подтипове въглища и пепели. На базата на отделените минерални типове въглища е разработена и нова концепция за „самопречистващи се горива”. Посочени са перспективните направления за оползотворяване и очакваните екологични и технологични проблеми за всеки от отделените типове въглища и пепели (статии № 33, 35-36, 57).

2.2. Създадена е нова система за химично класифициране на *биомаса* въз основа на собствена база-данни за пълния химичен състав на 86 природни и техногенни групи биомаса и 141 типа *пепели от биомаса*. Практическото приложение на предложената класификация е за индикаторни и прогнозни цели при формулиране на нови стандарти за качеството и сертифициране на биомасата, както и при избора на биомаса за алтернативно гориво при производство на енергия и химични продукти (статия № 37).

2.3. Създадена е нова комбинирана класификация на *пепели от биомаса*, базирана на техния фазово-минераложки и химичен състав, произход и свойства. Установени са потенциалните области за иновативно приложение на класифицираните типове пепели от биомаса, а именно: директно оползотворяване (строителни материали, почвени подобрители), извличане на ценни компоненти и мултикомпонентно приложение след фракциониране. Посочени са технологичните предимства и предизвикателства, както и някои екологични и здравни рискове, свързани с всеки тип пепели от биомаса. (статии № 40-42, 47, 54).

Новото при тези класификации е генетичния подход и включването на минералния състав за разлика от предшестващите класификации, базирани единствено на химичния състав на пепелта от горивата, който не носи достатъчна информация за

поведението на минералното вещество при изгаряне, газификация и пиролиза. Създадените нови комбинирани класификации позволяват по-точно прогнозиране на технологичните и екологичните проблеми при термохимичната преработка на горивата, а също така и определяне на перспективните направления за оползотворяване на всеки от отделените неорганични типове горива или отпадъчни продукти. На базата на тези класификации са систематизирани за първи път предимствата и недостатъците на състава и свойствата на биомасата като възобновяем източник на енергия в сравнение с тези на въглищата като традиционно гориво. Установено е, че недостатъците на биомасата като източник за производство на горива и химикали доминират над нейните предимствата, но основните екологични, икономически и социални ползи от използването на биомаса компенсират технологичните и други ограничения, предизвикани от неблагоприятния състав и свойства на биомасата.

3. Механизми на формиране и стапяне на пепелите от въглища и биомаса и технологични проблеми при термохимичната преработка на горивата (публикации № 4, 29, 32, 42-43, 45, 51, 53, 58-59).

Общ брой научни публикации: 10

Брой забелязани цитати: 1308

Основен принос 3. *За първи път в световен аспект са обяснени механизмите на формиране и стапяне на пепелите от въглища и биомаса на базата на минералния състав на тези горива (за разлика от приетите до момента химични подходи), което е от водещо значение при подбора на подходящ технологичен процес за термохимичната преработка на всеки тип гориво.*

По важните научни резултати по тази тема могат да се резюмират както следва:

3.1. Изяснено е поведението на неорганичното вещество при термичната преработка на *лигнити, суббитуминозни и битуминозни въглища* при температури от 100 до 1600°C, както и механизмите на формиране на твърди отпадъчни продукти при изгаряне на въглища с различен ранг и състав в ТЕЦ. Систематизирани са физико-химичните трансформации в неорганичното вещество при горене на въглищата и са изведени зависимости между минералния и химичен състав на въглищата и температурите на стапяне на техните пепели. Изяснени са причините за редица технологични и екологични проблеми в ТЕЦ, свързани с минералното вещество на въглищата. Направени са и предложения за решаването на тези проблеми (статии № 4, 29, 32, 58).

3.2. Установени са етапите на фазово-минераложките и химични трансформации на органичното и неорганичното вещество по време на изгарянето на разнообразни видове *биомаса* при температури от 500 до 1500°C. Обяснени са механизмите на формиране и стапяне на типовете *пепели от биомаса*, и са предложени някои индикатори за потенциални технологични проблеми (шлаковане, натрупване на налепи, и корозия;

ниски температури на стапяне; и абразия) и еколожки и здравни рискове (киселинност и алкалност; летливост, улавяне и имобилизация на вредни елементи и съединения; инхалация на пепелта), както по време на изгаряне на биомаса, така и при приложението на пепелите от биомаса (статии № 42-43, 45).

3.3. Изучени са органичната структура, термичното поведение и стапянето на минералното вещество в *кокс, получен при съвместна газификация на въглища и биомаса*, с цел оптимизиране параметрите на технологичния процес в инсталациите при увеличаване пропорциите на биомасата в горивната смес, което е свързано с изискванията на бъдещата нисковъглеродна енергетика (статии № 51, 53, 59). Установи се, че добавянето на 20% биомаса към въглищата предизвиква формирането на ниско-температурни минерали, съдържащи алкални и алкалоземни елементи, които допринасят за подобро източване на шлага от газификатора.

Предложеният в тези изследвания нов подход позволява по-точното прогнозиране на ключовите технологични проблеми (ниски температури на стапяне, шлаковане и блокиране на горивните камери, приложение на пепелите) и екологични рискове (летливост и разтворимост на токсични елементи) при изгаряне и газификация на тези горива. Относно приложимостта на тези изследвания бих цитирал информация от акад. Съботинов за неговото посещение в Япония като Председател на БАН, където му е била изразена „благодарност към българския учен д-р Станислав Василев от БАН, който със своите фундаментални научни изследвания значително им е помогнал за развитието на уникални технологии при използването на въглищата в японската енергетика.” (Съботинов, Н. 2006. Информация от акад. Н. Съботинов за неговото посещение в Япония. Информационен бюлетин на БАН, бр. 1, януари 2006, 11-13)

4. Екологосъобразно и устойчиво оползотворяване на пепели от въглища и биомаса (публикации № 9, 14-17, 19-26, 36, 39, 41-42, 54-57, 60).

Общ брой научни публикации: 22

Брой забелязани цитати: 2097

Основен принос 4. *За първи път в световен аспект е създаден модел за многокомпонентно, безотпадно и екологосъобразно оползотворяване на пепели от ТЕЦ, изгарящи въглища. Подробно са разработени възможните иновативни и устойчиви приложения и на различните типове и подтипове пепели от биомаса. Изяснени са причините, които водят до замърсяване на околната среда при изгаряне на въглища и биомаса като са предложени ефективни сорбенти и решения за важни екологични проблеми в районите на ТЕЦ.*

По важните научни резултати по тази тема могат да се резюмират както следва:

4.1. Създадена е сепарационна схема за последователно извличане от *пепели, получени при изгаряне на въглища в ТЕЦ*, на висококачествени и ценни материали с редица индустриални приложения, както следва: (1) керамични ценосфери; (2) водоразтворими

соли; (3) магнитен концентрат; (4) коксов продукт; (5) тежка фракция, набогатена на редки и разсеяни елементи; и (6) подобрен пепелен остатък, както и немагнитни едро- и фино-зърнести фракции (статии № 20-21, 23-26). Установи се, че потенциалните направления за оползотворяване на пепелите са свързани главно със състава на магнитните фракции, водоразтворимите соли, коксовите концентрати, и леките и тежите фракции, докато вероятните еколожки проблеми са свързани основно с мобилността на редица редки елементи във водоразтворимите остатъци, леките фракции и коксовите концентрати. Предложеният модел се прилага в Англия, САЩ и други страни (Blissett, R.S., Rowson, N.A. 2012. A review of the multi-component utilisation of coal fly ash. Fuel, 97: 1-23.).

4.2. На базата на създадената нова класификационна система за *пепелите от биомаса* (статия № 41) подробно са разработени иновативните и устойчиви области на потенциална употреба за всеки специфичен тип и подтип пепели от биомаса, а именно: (1) общо оползотворяване (за почвени подобрители и наторяване; производство на строителни материали, адсорбенти, керамики и други материали; и за синтез на минерали); (2) извличане на ценни компоненти (коксови, водоразтворими, ценосфериплеросфери, магнитни и тежки фракции; и елементи, включително стратегически и критични за индустрията рядкоземни елементи и итрий); и (3) мултикомпонентно оползотворяване (статии № 42, 54-55).

4.3. Изяснени са причините, които водят до замърсяване на околната среда (въздух, почви, повърхностни и подпочвени води, и растителност) с опасни и потенциално опасни компоненти (Cl, Br, Hg, редки и разсеяни елементи, SO₂, NO_x, CO₂) в *районите на въглищните ТЕЦ* - (статии № 9, 14-16, 36, 39), както и при изгарянето на *биомаса*, а именно - преразпределение на фини прахови частици, летливост на опасни елементи в атмосферата (статия № 42).

4.4. За първи път в световен аспект са създадени евтини и ефективни *каталитични коксови сорбенти* за редукия на промишлени NO_x газове, които се базират на въглищен кокс, импрегниран с преходни метали от пепелта на петролни отпадъци като е предложена технология, осигуряваща оптимални условия за производството на тези сорбенти (статии № 17, 19, 22). По информация на проф. Rafael Moliner от Instituto de Carboquímica, Сарагоса, Испания такива сорбенти се използват в рафинериите на Repsol в Испания и други страни.

4.5. Установени са съдържанието, разпределението и формите на присъствие на Hg във *въглищни пепели* от различни полета на електрофилтрите на 5 големи български ТЕЦ, както и повърхностните свойства и способността на пепелите за улавяне и задържане на Hg при изгарянето на въглища в ТЕЦ (статия № 39).

4.6. Установени са водоразтворимите елементи във *въглищни пепели* от 9 български ТЕЦ (статия № 57). Доказано е, че при водно третиране на тези отпадъчни продукти потенциални мобилни замърсители на околната среда (води, почви и растения) са елементите As, B, Cl, Cr, Hg, S, Sb, Se и V.

4.7. Доказано е, че водоразтворимите фракции на *биомасата и пепелите от биомаса (ПБ)* предизвикват най-критичните еколожки и технологички проблеми при термохимичната преработка на биомасата и оползотворяването на ПБ, тъй като са силно набогатени на елементи (Cl, S, K, Na, N, P, редки и разсеяни елементи) с неблагоприятни форми на присъствие (статия № 54). Доказано е, че потенциални мобилни замърсители на околната среда са елементите Br, Cl, Co, Cr, Cd, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, S, Sb, Se и Zn за ПБ. Направени са препоръки за намаляване или обезвреждане на нежеланите водоразтворими компоненти в сол-толерантни биомаси и ПБ, а именно: правилен подбор на горивните суровини, промяна в практиките на наторяване и прибиране на реколтата, прилагане на природно или индустриално промиване на суровините с вода, смесване на различни горива и/или употреба на добавки преди термохимичната преработка.

4.8. Изяснен е механизмът на минерална карбонатизация за различен тип *пепели от биомаса* и техния потенциал за улавяне и съхранение на CO₂ в допълнение към ползата от неутралните CO₂ емисии при изгарянето на биомасата (статии № 56, 60). Доказано е, че потенциалът за улавяне и съхранение на CO₂ в различни типове пепели от биомаса е 2-34% (средно 22%). Посочено е, че бъдещото използване на биоенергия в големи мащаби ще допринесе за значително намаляване на CO₂ емисиите, както и на необходимостта от прилагане на скъпи сорбенти и технологии за улавяне и съхранение на CO₂.

Гореописаните научни приноси имат фундаментално значение за развитието на науката както в България, така и в световен аспект, като допринасят съществено за по-задълбоченото разбиране на състава и свойствата на твърдите горива и продуктите от тяхната преработка. Това от своя страна допринася в приложен аспект за напредъка на технологиите за преработка на твърдите горива, комплексното и екологосъобразно оползотворяване на отпадъчните им продукти и намаляване на екологичните проблеми в районите на ТЕЦ. В резултат на тези изследвания са направени препоръки или са разработени практически решения за някои технологични и екологични проблеми. Изследванията върху биомасата имат важен принос към политиките за производство на устойчива биоенергия и противодействие на климатичните промени чрез преминаване към зелена и нисковъглеродна енергетика в световен мащаб.