NORWEGIAN JOURNAL OF DEVELOPMENT OF THE INTERNATIONAL SCIENCE

№54/2021

Norwegian Journal of development of the International Science

ISSN 3453-9875

VOL.1

It was established in November 2016 with support from the Norwegian Academy of Science.

DESCRIPTION

The Scientific journal "Norwegian Journal of development of the International Science" is issued 24 times a year and is a scientific publication on topical problems of science.

Editor in chief – Karin Kristiansen (University of Oslo, Norway)

The assistant of theeditor in chief – Olof Hansen

- James Smith (University of Birmingham, UK)
- Kristian Nilsen (University Centre in Svalbard, Norway)
- Arne Jensen (Norwegian University of Science and Technology, Norway)
- Sander Svein (University of Tromsø, Norway)
- Lena Meyer (University of Gothenburg, Sweden)
- Hans Rasmussen (University of Southern Denmark, Denmark)
- Chantal Girard (ESC Rennes School of Business, France)
- Ann Claes (University of Groningen, Netherlands)
- Ingrid Karlsen (University of Oslo, Norway)
- Terje Gruterson (Norwegian Institute of Public Health, Norway)
- Sander Langfjord (University Hospital, Norway)
- Fredrik Mardosas (Oslo and Akershus University College, Norway)
- Emil Berger (Ministry of Agriculture and Food, Norway)
- Sofie Olsen (BioFokus, Norway)
- Rolf Ulrich Becker (University of Duisburg-Essen, Germany)
- Lutz Jäncke (University of Zürich, Switzerland)
- Elizabeth Davies (University of Glasgow, UK)
- Chan Jiang(Peking University, China) and other independent experts

1000 copies

Norwegian Journal of development of the International Science

Iduns gate 4A, 0178, Oslo, Norway

email: publish@njd-iscience.com

site: http://www.njd-iscience.com

CONTENT

AGRICULTURAL SCIENCES

Ivanova E.
STUDY OF ACID-REDUCING ABILITY OF COLLECTION STRAINS OF WINE YEAST FUNGI - SACCHAROMYCETES 3

Pushkarev V., Baidavletov R.
ECONOMIC EFFICIENCY OF GROWING TABLE CARROTS IN THE NORTH-WEST OF RUSSIA WHEN USING HERBICIDES 5

Yakovets L.
MIGRATION OF HEAVY METALS IN THE SOIL PROFILE 8

BIOLOGICAL SCIENCES

Loginov V., Minina L., Krivdina T., Vodeneeva E., Lavrova T., Mushakov D.
TROPHIC ASSESSMENT OF THE OKA ESTUARY AREA ON THE BASIS OF MODERN DATA ON ABIOTIC AND BIOTIC INDICATORS OF WATER MASSES.....13

CHEMICAL SCIENCES

Fedenko Yu.
RGULARITIES OF SORPTION CU (II) IONS BY NATURAL AND ACTIVATED BENTONITE CLAYS.....28

Yurovskikh J., Burmistrov V.
SYNTHESIS AND STUDY OF THE ION-EXCHANGE PROPERTIES OF H^+/Me^+ (Me = Li, Na, K) IN POLYANTIMONIC ACID 31

PHYSICAL SCIENCES

Karnilovich S., Shaar Y., Hassan N.
MOTION OF CHARGED PARTICLES IN THE FIELD OF WAVE PACKETS IN CROSSED ELECTRIC AND MAGNETIC FIELDS, CONSIDERING WEAKLY RELATIVISTIC EFFECTS.....37

Antonov A.
THE PHYSICS OF IMAGINARY NUMBERS IS THE NEW PHYSICS, IT IS PHYSICS OF AN INVISIBLE, BUT REALLY EXISTING WORLD 38

TECHNICAL SCIENCES

Babeniuk G.
INTEGRATED DEVELOPMENT ENVIRONMENT SUPPORT FOR DELAY TOLERANT NETWORKING.....47

Volianskyi Yu., Volyanskaya Ya., Volyanskiy S.
SPECIALIZED INFORMATION AND SOFTWARE FOR DATA PROTECTION OF COMPLEX TECHNICAL SYSTEMS.....48

Gontar Yu., Shchebeniuk L., Huryn A.
ANALYSIS PARAMETERS OF STATIONARY THERMAL PROCESSES IN OPERATION REAL POWER CABLE INSULATED MEDIUM VOLTAGE XLPE.....55

Murashov I., Mirzoyan D., Kryukova E., Goryacheva E.
STUDY OF THE INFLUENCE OF THE AMOUNT OF LASER EMITTING ON THE CUTTING PROCESS OF RAW MEAT 59

Sobol A.N., Andreeva A.A.
FAULTS OF ASYNCHRONOUS GENERATORS AUTONOMOUS WIND-SOLAR POWER PLANTS.....62

AGRICULTURAL SCIENCES

УДК 663.131/.252.41

STUDY OF ACID-REDUCING ABILITY OF COLLECTION STRAINS OF WINE YEAST FUNGI - SACCHAROMYCETES

Ivanova E.
Cand. Techn.Sci., Leading Researcher of the laboratory of Microbiology;
Federal State Budget Seientific Intstitution All-Russian National Research Institute of Viticulture and Wine-making Magarach of RAS; 31 Kirov St., 298600, Yalta, Republic of Crimea, Russia

ИЗУЧЕНИЕ КИСЛОТОПОНИЖАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ КОЛЛЕКЦИОННЫХ ШТАММОВ ВИННЫХ ДРОЖЖЕЙ-САХАРОМИЦЕТОВ

Иванова Е.В.
к.т.н., вед.н.с. лаборатории микробиологии;
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Всероссийский национальный научно-исследовательский институт виноградарства и виноделия «Магарач» РАН; Россия, Республика Крым, г. Ялта, ул. Кирова, 31, 298600
DOI: 10.24412/3453-9875-2021-54-1-3-5

Abstract
The acid-reducing ability of saccharomycetes wine yeast strains from the Magarach wine yeast collection was researched. Most of the studied strains (90%) did not influence the titratable acidity of grape must during fermentation. From the list of 325 strains - saccharomycetes, 26 strains slightly decreased and 7 strains slightly increased the content of titratable acids during the grape must fermentation.

Аннотация
Изучена кислотопонижающая способность штаммов винных дрожжей-сахаромицетов из Коллекции винных дрожжей «Магарач». Большинство исследованных штаммов (90 %) не оказали влияния на титруемую кислотность виноградного сусла при брожении. Из 325 штаммов-сахаромицетов 26 штаммов незначительно снизили, а семь штаммов незначительно повысили содержание титруемых кислот при брожении виноградного сусла.

Keywords: technological properties, titratable acids
Ключевые слова: технологические свойства, титруемые кислоты.

Основными направлениями коллекционной деятельности по поддержанию КМВ «Магарач» являются: паспортизация промышленно ценных штаммов дрожжей рода *Saccharomyces*, пополнение коллекционного фонда перспективными штаммами, сохранение жизнеспособности штаммов методом частых пересевов и в условиях низких температур, оценка сохранения заявленных свойств штаммов в процессе хранения [1,2]. Паспортизация промышленно ценных культур винных дрожжей, наряду с общепринятыми микробиологическими подходами, предполагает исследование их свойств, определяемых современными технологическими приемами получения вин разного типа.

Одним из основных показателей качества столового вина является титруемая кислотность, которая определяет гармоничный вкус вина, его устойчивость к микробиальным заболеваниям и влияет на склонность вина к физико-химическим помутнениям. Ряд отечественных и зарубежных исследователей показал, что некоторые штаммы винных дрожжей-сахаромицетов, одновременно с проведением спиртового брожения способны утилизировать яблочную кислоту. Яблочная кислота превращается в пировиноградную, которая участвует затем в реакциях спиртового брожения с декарбоксилированием в этаналь, который сам восстанавливается в этанол.

По данным И.В. Квасникова [3], сахаромицеты обладают слабой способностью разлагать яблочную кислоту. В процессе спиртового брожения винные дрожжи могут разлагать до 45 % яблочной кислоты в сусле, а дрожжи-шизосахаромицеты в анаэробных условиях – всю яблочную кислоту. Квасников отмечал, что лишь 15 % музейных штаммов сахаромицетов утилизировали яблочную кислоту, и большинство штаммов лишь незначительно снижали титруемую кислотность вина.

Известны работы, в которых сообщается о различиях между расами винных дрожжей по потреблению яблочной кислоты в процессе брожения сусла [4]. Некоторые расы дрожжей способны утилизировать почти половину яблочной кислоты, а другие – практически не затрагивающие яблочную кислоту в процессе брожения [5].

Возможно подобрать расы дрожжей с минимальной способностью поглощения яблочной кислоты и использовать их для сбраживания низкокислотных сусел и, наоборот, расы дрожжей с максимальным потреблением яблочной кислоты, которые будут снижать кислотность при брожении высококислотных сусел [6].

Новизна работы – получение новых научных данных о биоразнообразии, морфолого-культуральных, физиолого-биохимических и технологических свойствах штаммов дрожжей виноградо-винодельческой экологической ниши.

Цель работы – изучение кислотопонижающей способности коллекционных штаммов дрожжей-сахаромицетов.

Исследования направлены на поддержание, пополнение и рациональное использование генофонда микроорганизмов для виноделия, способствующих получению качественной и безопасной винопродукции.

При проведении исследований были использованы подходы и методы, общепринятые в микробиологии виноделия и энохимии [3, 7, 8].

Объектами исследования являлись 327 штаммов дрожжей из КМВ «Магарач», принадлежащие к следующим родам и видам (по систематике И.В. Квасникова [3]): – *Saccharomyces*: *S.vini* - 185 штаммов; *S.cerevisiae* – 54 штамма; *S. oviformis* – 56 штаммов; *S. par*adoxus – 22 штамма; *S. chodati* – 2 штамма; *S. bayanus* – 3 штамма; *S. chevalieri* – 2 штамма; *S. uvarum* – 1 штамм;

– *Schizosaccharomyces*: *Schiz. acidodevoratus* – 2 штамма (контроль).

Согласно современной систематике Курцмана и соавторов, все сахаромицеты принадлежат виду *S.cerevisiae* [9].

Эксперименты проводили на виноградном сусле Алиготе с массовой концентрацией сахаров 188 г/дм^3, исходной массовой концентрацией титруемых кислот 6,3 г/дм^3 (с добавлением химически чистой яблочной кислоты 3 г/дм^3, до массовой концентрации титруемых кислот 9,3 г/ дм^3), pH 3,14, в трех повторностях. В качестве контроля использовали два штамма дрожжей-шизосахаромицетов– активные кислотопонижатели [10].

Разводку дрожжей вносили в виноградное сусло в количестве 2об.% трехсуточной культуры. Брожение виноградного сусла проводили при температуре (20±1) °С. По окончании спиртового брожения определяли массовые концентрации титруемых кислот в виноматериале и отмечали штаммы, снизившие или повысившие концентрацию титруемых кислот по сравнению с исходной.

Как показали полученные данные (таблица), только 26 штаммов сахаромицетов из 325 снижали содержание титруемых кислот на 0,2 – 1,0 г/дм^3 (8% всех штаммов). Семь штаммов (2% всех штаммов) незначительно повысили (на 0,3 - 1,0 г/дм^3) титруемую кислотность при спиртовом брожении. Основное количество штаммов – 298 из 325 (90 %) – не оказали заметного влияния на титруемую кислотность виноградного сусла при брожении.

Таблица 1

Изменение титруемой кислотности при брожении виноградного сусла коллекционными штаммами дрожжей

Род	Вид	Изменение титруемой кислотности по окончании брожения (г/дм^3) коллекционными штаммами дрожжей			
		Снижение		Повышение	
		min (до 0,5)	max (от 0,5 до 1,0)	min (до 0,5)	max (от 0,5 до1,0)
Saccharo-myces	*cerevisiae*	нет	I-11, I-132	I-137	нет
	oviformis	I-27, I-307, I-523, I-648	I-128, I-284, I-440, I-518, I-525, I-636	I-614	I-250, I-516
	vini	I-224, I-332, I-339, I-520, I-622, I-536	I-273, I-321, I-340, I-527, I-625	I-176	I-244, I-635
	uvarum	I-300	нет	нет	нет

Полученные нами экспериментальные данные согласуются с известными литературными сведениями [11].

Из известных и часто применяемых в винодельческом производстве штаммов следует отметить как способные к снижению титруемой кислотности штаммы 47-К, Магарач 17-35, Херес 20-С/96 и Севастопольскую 23; незначительно повышающие титруемую кислотность – штаммы Бордо 60, Киевская и Холодостойкая 1898 г. Таким образом, нами выявлены штаммы дрожжей рода *Saccharomyces*, которые в процессе спиртового брожения высококислотного виноградного сусла способны незначительно снижать (26 штаммов) или повышать (7 штаммов) массовую концентрацию титруемых кислот.

Исследование проведено в рамках № ГЗ 0833-2019-0008.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1 Иванова Е.В., Кишковская С.А., Скорикова Т.К., Танащук Т.Н., Шаламитский М.Ю. Инвентаризация и паспортизация культур дрожжей коллекции микроорганизмов виноделия //«Магарач». Виноградарство и виноделие. − 2016. – № 4. – С. 22-25.

2 Танащук Т.Н., Скорикова Т.К., Кишковская С.А., Иванова Е.В., Шаламитский М.Ю., Ананченкова Г.М., Загоруйко В.И., Чичинадзе Т.П. Влияние метода субкультивирования на сохранение свойств коллекционных культур // Виноградарство и виноделие «Магарач».- №4.- 2016г.- С. 20–22.

3 Квасников Е.И., Щелокова И.Ф. Дрожжи. Биология. Пути использования / отв. ред. Смирнов В.В. // АН УССР, Ин-т микробиологии и вирусологии им. Д.К. Заболотного. – Киев: Наукова думка. – 1991. – 328 с.

4 Radler F. Bedentung und Möglichkei der Verwendung von Reinkylturen von Hefen bei der Weinberreitung // Weinberg und Keller. – 1973. – V. 20. – № 9-10. – S. 339-350.

5 Rankine B.C. Pure yeast cultures in wine making.-Australian wine, brewing, spirit. Review // 1965. – August. – P. 52-54.

6 Бурьян Н.И., Тюрина Л.В. Микробиология виноделия. // М.: Пищевая промышленность. – 1979. – 271 с.

7 Бурьян Н.И. Практическая микробиология виноделия // Симферополь: Таврида, 2003. – 560 с.

8 Гержикова В.Г. Методы технохимического контроля в виноделии / под ред. В.Г. Гержиковой // Симферополь: Таврида. – 2009. – 304 с.

9 Kurtzman C.P., Fell J.W., Boekhout T. The Yeast, a Taxonomic Study / Eds. Kurtzman C.P., Fell J.W., Boekhout T., 5th ed. // Amsterdam: Elsevier. – 2011. – V. 2. – 1062 p.

10 Кишковская С.А, Иванова Е.В., Авидзба А.М., Загоруйко В.А. Некоторые особенности метаболизма дрожжей рода Schizosaccharomyces и пути их использования в виноделии // Виноградарство и виноделие «Магарач».- 2008.- № 2.- С.20-22.

11 Redzepovic S., Orlic S., Majdak A., Kozina B., Volschenk H., Viljoen-Bloom M. Differential malic acid degradation by selected strains of *Saccharomyces* during alcoholic fermentation // Int. J. Food Microbiol. – 2003. – V. 83. – P.49-61.

ECONOMIC EFFICIENCY OF GROWING TABLE CARROTS IN THE NORTH-WEST OF RUSSIA WHEN USING HERBICIDES

Pushkarev V.,
Candidate of Agriculture, docent State Agricultural Academy of Velikie Luki FGBOU VO
Baidavletov R.
Master student State Agricultural Academy of Velikie Luki FGBOU VO

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВЫРАЩИВАНИЯ МОРКОВИ СТОЛОВОЙ НА СЕВЕРО-ЗАПАДЕ РОССИИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ГЕРБИЦИДОВ

Пушкарев В.Г.,
кандидат с.-х. наук, доцент ФГБОУ ВО Великолукская ГСХА
Байдавлетов Р.Р.
магистрант ФГБОУ ВО Великолукская ГСХА
DOI: 10.24412/3453-9875-2021-54-1-5-7

Abstract
The economic efficiency of the use of the herbicide Gezagard in its pure form and a mixture with the preparation Panther on table carrot crops is calculated. The best option for using plant protection products on the crop is determined.

Аннотация
Рассчитана экономическая эффективность применения гербицида Гезагард в чистом виде и смеси с препаратом Пантера на посевах моркови столовой. Определен лучший вариант использования средств защиты растений на культуре.

Keywords. Table carrots, herbicides, economic efficiency.
Ключевые слова. Морковь столовая, гербициды, экономическая эффективность.

Овощеводство – отрасль сельского хозяйства, занимающаяся выращиванием овощных растений.

Различают овощеводство открытого грунта и овощеводство защищенного (закрытого) грунта. В открытом грунте возделывают овощные культуры для получения овощей и семян в весенне-летний и осенний периоды, в защищенном грунте - овощей во внесезонное время, когда по климатическим условиям невозможно получение урожая в поле, и рассады для открытого грунта. Овощеводство открытого и овощеводство защищенного грунта тесно связаны между собой: одно дополняя другое, они обеспечивают производство овощей в течение всего года [1].

В РФ в открытом грунте возделывают около 60 овощных растений, а также пряные овощные растения (эстрагон, кресс-салат, кориандр, мята и др.). В открытом грунте наиболее распространены капуста, томат, огурец, лук, морковь и свёкла, в защищенном грунте – основные культуры: огурец, томат, лук (выгонка на перо), а также цветная капуста, салат и редис.

Морковь является одной из основных овощных культур Нечерноземной зоны РФ. Природные условия, созданные селекционерами высококачественные сорта позволяют получать высокие стабильные урожаи этой ценной пищевой и кормовой культуры.

Это один из самых любимых и распространенных корнеплодов. Морковь относится к семейству зонтичных (сельдерейных). Морковь ценна своими высокими питательными, вкусовыми, диетическими качествами, легко усваивается организмом, оказывает регулирующее действие на процесс обмена веществ.

Морковь содержит много витаминов и минеральных солей.

Химический состав корнеплодов моркови (в %): воды 84,24-87,22; сахара 6,04-8,05; азотистых веществ 1,13-1,18; клетчатки 0,81-1,27; золы 0,94-1,21. В золе имеются соли железа, фосфора, кальция. Морковь богата витаминами В, B_1, С и др. Красно-оранжевые сорта содержат большое количество провитамина А (каротина) [2].

Одним из основополагающих факторов, способствующих повышению урожайности и качества моркови столовой, является разработка перспективных и экологически безопасных элементов технологии возделывания этой овощной культуры, в том числе ликвидация потерь урожая от сорняков, так как морковь является слабо конкурентной культурой.

В этой связи борьба с сорной растительностью или снижение ее численности в посевах сельскохозяйственных культур до экономически безопасного уровня является важным направлением агрономической работы.

Цель наших исследований – повышение продуктивности моркови столовой при одновременном снижении численности и массы сорной растительности и получении экономического эффекта.

Исследования по изучению гербицидов на посевах моркови столовой проводили в производственных условиях в 2019-2020 гг.

При закладке опыта и разработке методики исследований руководствовались методикой по проведению полевых опытов [3].

Экономическую эффективность выращивания белокочанной капусты при применении гербицидов рассчитывали по рекомендациям кафедры экономики, менеджмента и торгового дела ФГБОУ ВО Великолукская ГСХА. Статистическую обработку экспериментальных данных выполняли по методике [3] с применением программы Excel for Windows.

Почва опытного участка дерново-подзолистая среднесуглинистая, содержание гумуса – 2,5 %, подвижного фосфора – 150-160, подвижного калия – 100-115 мг/кг почвы, pH_{KCl} – 6,1.

Полевые опыты по изучению гербицидов включали четыре варианта в четырехкратной повторности.

Схема опыта:

1. Контроль (вариант без применения гербицидов);
2. Гезагард 50 % КС 1,5 л/га;
3. Гезагард 1,0 л/га + 0,5 л/га (по всходам);
4. Гезагард 1,0 л/га + Пантера 4 % КЭ 1,0 л/га.

Учетная площадь делянки – 30 м^2.

В контрольном варианте гербициды не применялись. Обработка почвы проводилась в соответствии с агротехническими требованиями для моркови в нашей зоне в зависимости от предшественника.

Гербициды вносили до высадки рассады культуры в первой декаде мая AMAZONE UG 3000 Nova.

В производственных условиях изучались два сорта моркови столовой: Нантская 4 и Шантанэ 2461.

Для определения экономической эффективности выращивания столовой моркови необходимо было рассчитать следующие показатели: выход урожая с 1 га, трудоёмкость, себестоимость, прибыль или условный чистый доход и уровень рентабельности, характеризующие эффективность производства.

Анализируя производственные затраты выращивания сортов столовой моркови при применении различных гербицидов установлено, что с увеличением дополнительных операций по обработке гербицидами и с возрастающей урожайностью увеличиваются материально-денежные затраты (с 187,6 до 222,0 тыс. руб./га) и затраты труда (с 432,1 до 544,2 чел.-ч/га) на производство (таблица 1). В то же время с увеличением урожайности соответственно растет стоимость валовой продукции (с 352,8 до 446,4 тыс. руб./га) и сумма условного чистого дохода (с 165,2 до 222,4 тыс. руб./га).

Нами были проведены расчёты стоимости затрат применяемых препаратов в расчёте на 1 т урожая столовой моркови.

Следует отметить, что в нашем эксперименте в среднем за 2 года на двух изучаемых сортах столовой моркови Нантская 4 и Шантанэ 2461 наибольшую прибавку урожая в расчёте на 100 га обеспечила смесь препаратов Гезагард 1,0 л/га + Пантера 1,0 л/га – 550-690 т. Однако, несмотря на более высокую урожайность, которую в целом по всем вариантам показал сорт Шантанэ 2461 – 31,7-37,2 т/га, сорт столовой моркови Нантская 4 обеспечил большую прибавку урожая относительно контроля при применении всех комбинаций и видов применяемых гербицидов 4,1-6,9 т/га, против 2,7-5,5 т/га у сорта Шантанэ 2461.

Таблица 1

Производственные затраты и производство продукции столовой моркови

Показатели	Нантская 4				Шантанэ 2461			
	Кон-троль	Геза-гард 1,5 л/га	Геза-гард 1,0+ 0,5 л/га (по всхо-дам)	Геза-гард 1,0 л/га+ Пан-тера 1,0 л/га	Кон-троль (вода)	Геза-гард 1,5 л/га	Геза-гард 1,0+ 0,5 л/га (по всхо-дам)	Геза-гард 1,0 л/га+ Пан-тера 1,0 л/га
Урожайность, т/га	29,4	34,1	35,2	36,3	31,7	34,4	36,8	37,2
Затраты труда, чел-ч/га	432,1	499,9	515,9	531,4	465,0	504,2	538,8	544,2
Материально-денежные затраты, тыс. руб/га	187,6	208,5	213,5	217,8	197,7	209,8	220,5	222,0
Стоимость валовой продукции, тыс. руб/га	352,8	409,2	422,4	435,6	380,4	412,8	441,6	446,4
Сумма условного чистого дохода, тыс.руб/га	165,2	200,7	208,9	217,8	182,7	203,0	221,1	224,4

Также необходимо отметить, что двукратная обработка гербицидом Гезагард (1,0+0,5 л/га – по всходам) снижала стоимость препарата в расчёте на производство 1 т корнеплодов столовой моркови до 65,6 рублей у сорта Нантская 4 и до 62,8 рублей при возделывании сорта Шантанэ 2461. Среди исследуемых сортов, лучшими показателями по окупаемости применяемых препаратов отличался сорт Шантанэ 2461.

На основании проведенных экономических расчетов и данных, приведенных в таблице 2, следует что, наиболее оправданным и экономически выгодным в условиях Северо-Запада России является выращивание сорта столовой моркови Шантанэ 2461 при применении смеси гербицидов Гезагард 1,0 л/га + Пантера 1,0 л/га.

Таблица 2

Экономическая эффективность возделывания столовой моркови при применении гербицидов

Показатели	Нантская 4				Шантанэ 2461			
	Кон-троль	Геза-гард 1,5 л/га	Геза-гард 1,0+ 0,5 л/га	Геза-гард 1,0 л/га+ Пан-тера	Кон-троль (вода)	Геза-гард 1,5 л/га	Геза-гард 1,0+ 0,5 л/га	Геза-гард 1,0 л/га+ Пан-тера
Урожайность, т/га	29,4	34,1	35,2	36,3	31,7	34,4	36,8	37,2
Трудоемкость, чел-ч/т	14,7	14,7	14,7	14,6	14,7	14,7	14,6	14,6
Себестоимость, руб/т	6382	6115	6065	6000	6236	6100	5991	5969
Условный чистый доход, руб/т	5618	5885	5935	6000	5764	5900	6009	6031
Уровень рентабельности, %	88,0	96,2	97,8	100,0	92,4	96,7	100,3	101,0

Установлено, что в данном варианте получен более высокий урожай – 37,2 т/га, при низкой трудоемкости – 14,6 чел-ч/т и самой низкой себестоимости – 5969 руб./т. В данном варианте также отмечен максимальный условный чистый доход – 6031 руб./т и самый высокий уровень рентабельности – 101,0 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Китаева И.Е., Орлова В.Н. Белокочанная капуста. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Росагропромиздат, 1988. – 45 с.

2. Вересков К.Н. и др. Овощеводство и плодоводство / К.Н. Вересков – Л.: Колос, 2001. – 440с.

3. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований): учеб. для студ. вузов по агр. спец. / Доспехов Б.А. – 6-е изд., стер.; перепеч. с пятого изд. 1985 г. – М.: Альянс, 2011. – 352 с.

MIGRATION OF HEAVY METALS IN THE SOIL PROFILE

Yakovets L.
Candidate of Agricultural Sciences, senior lecturer of the Department of Botany, Genetics and Plant Protection, Faculty of Agronomy and Forestry, Vinnytsia National Agrarian University
DOI: 10.24412/3453-9875-2021-54-1-8-12

Abstract

The problem of pollution of the soil environment with heavy metals is analyzed. Of particular importance is the profile migration of pollutants, which occurs most intensively in spring, autumn and summer with a large amount of precipitation, when there are intense descending flows of soil moisture. The migration of heavy metals is limited by the processes of their deposition on geochemical barriers. The study of the profile migration and accumulation of heavy metals showed that metals have an unequal behavior in soils, a change in their content along the profile is noted.

The article examines the dynamics of the distribution of mobile forms of heavy metals in various soils of the Vinnitsa region, provides the results of determining the pH in these soils.

It has been established that trace elements in the form of inorganic salts are effective on acidic soils. In soils with a reaction close to neutral, their effectiveness decreases tenfold. In neutral and slightly alkaline soils, inorganic salts cannot contain trace elements in a water-soluble form, that is, in a form accessible to plants, and their effectiveness tends to zero.

Analyzing soil contamination with lead, cadmium, zinc and copper, it was found that their content was 8.1 times lower than the MPC, 5.38, 21.4 and 5.0 times, respectively. A high content of heavy metals in the soil was observed for zinc, compared with lead, cadmium and copper, it was 1.44, 8.23 and 1.78 times higher, respectively.

Keywords: migration; heavy metals; anthropogenic sources; capture ratio; fertilizer; trace elements.

Anthropogenic load causes a significant impact on agroecosystems. For modern conditions of the region, an urgent problem is to study not only the essence of the processes of optimization of soil regimes and soil cultivation, but also the issues of environmental monitoring and evolution of the soil cover, the study of ways to reduce anthropogenic pressure and its negative consequences [1].

The pollution of agroecosystems with heavy metals is an extremely important and urgent problem of our time. Their danger is determined by their ability to accumulate in the soil, to be included in the trophic chains and transmitted by them from plants to the human body.

Heavy metals are removed from the human body very slowly and are capable of accumulating mainly in the kidneys and liver, given that plant products, even from slightly contaminated areas, can cause a cumulative effect - a gradual increase in the content of heavy metals in the human body.

The term "heavy metals" is characterized by a wide group of pollutants, which has recently become widespread. In various scientific and applied works, the authors interpret the meaning of this concept in different ways. In this regard, the number of elements that belong to the group of heavy metals varies within wide limits. Numerous characteristics are used as membership criteria: atomic mass, density, toxicity, prevalence in the natural environment, degree of involvement in natural and man-made cycles. In some cases, the definition of heavy metals includes elements related to brittle (for example, bismuth) or metalloids (for example, arsenic). Most heavy metals such as zinc, lead, copper, and cadmium are toxic.

The negative consequences of anthropogenic impact on ecosystems have led to deep destruction of important components of the biosphere, disruption of its functions, disintegration of almost closed natural biogeochemical cyclic processes in the biosphere and destruction of optimal conditions for the existence of living organisms, especially humans. Given the current circumstances, among the problems of modern ecology, one of the first places is occupied by agroecological aspects of soil use [2].

The main agroecological factors that directly affect the aggravation of the ecological situation in the region and a decrease in the stability of the environment, the destruction of the natural mechanisms of its stabilization (fauna and flora groups) include disruptions in the functioning of the carbon and nitrogen cycles, the intensification of various types of soil degradation, a decrease in their energy and buffer capacity [3].

To a large extent, the negative consequences of anthropogenic, quite often unreasonable, incompetent interference in natural ecosystems have manifested themselves today; scientific and public opinion is inclined to the need for the greening of all human economic activity.

The soil is a kind of natural workshop, where the processes of transferring vital chemical elements into a mobile state accessible to plants, or their consolidation and accumulation, are purposefully applied. The main processes, in which heavy metals are involved, are the processes of adsorption, migration, transformation, translocation by plants, removal into groundwater and inclusion in biogeochemical cycles. The localization of forms of heavy metals depends on a number of factors: the amount and composition of compounds inherited from the parent rock and coming from anthropogenic sources, interactions with soil components and soil solutions during secondary redistribution. The nature of these interactions is associated with the properties of

metal ions and with the composition and properties of soils. The forms of finding heavy metals in soils determine their mobility, migration ability, availability to living organisms and toxicity [1].

Soils function as a habitat, accumulator and sources of matter and energy for organisms, an intermediate chain between biological and geological circulation, a protective barrier and conditions for the normal functioning of the biosphere as a whole, and the like. The named functions of soils form their ecological potential.

The soil for heavy metals is a capacious acceptor. Once in the soil, metals firmly bind with humic substances, forming hardly soluble compounds, are part of absorbed bases, clay minerals, and also migrate in the soil solution along the profile.

The concentration of heavy metals in the soil solution is the most important ecological characteristic of the soil, since it determines the migration of heavy metals along the profile and their absorption by plants. Heavy metals contained in humic acids fixed on highly dispersed soil particles are a special migratory form of metals that plays an important role in the formation of mass flows that migrate in the solid runoff. The fixation of complex compounds of metals with humic acids on highly dispersed mineral components of the soil is a part of the global mechanism for regulating the mass transfer of metals in the biosphere.

Mobile forms of heavy metals are concentrated mainly in the upper soil horizons, where there is a lot of organic matter and biochemical processes are active. In organic complexes, heavy metals are highly mobile.

Heavy metals are fixed by organic matter in the following forms: salts with humic acids; as adsorbents of humic acids; in the form of complex salts with humic acids; as part of undecomposed and semi-decomposed plant and animal remains; in organometallic compounds, in the form of chelates, protenogenic amino acids, polyphenols.

In the presence of favorable soil conditions - high humus content and low acidity - heavy metals, with the exception of Cd, are well fixed by soil particles, passing into a stationary state.

The mobility of heavy metals also depends on the acidity of the soil. At pH 4, Pb and Hg are most mobile, pH values from 4.5 to 5 promote the mobility of Cu and Cr. Zn, Ni, Mn, and Co have the maximum mobility at pH from 5 to 5.5, and Cd is mobile at pH 6.5.

An increase in pH values enhances the sorption of cation-forming metals Cu, Zn, Ni, Hg, Pb and increases the mobility of anion-forming metals Mo, Cr, V. Strengthening of oxidizing conditions increases the migration ability of metals.

Thus, some part of technogenic heavy metals is in a mobile state in the soil solution, and a part goes into a stationary state, being fixed by organic matter, clay minerals and iron oxides.

Environmentally unjustified agricultural production led to significant losses of the humus layer of the soil, the development of erosion processes, an increase in the areas of acid and saline soils, a decrease in the content of nutrients and beneficial microflora, contamination with pesticide residues, heavy metals, radionuclides.

Therefore, to solve the problems that have arisen in the field of land use, as well as to develop and implement scientifically based measures for the ecologically balanced use of agricultural land, it is necessary to have information on the agroecological state of soils.

The need to study the mobile forms of heavy metals is due to their high migration activity and the ability to accumulate in biological objects.

Most authors [2, 3] distinguish two groups of HM compounds in soils by the mechanism of interaction of metal with soil components and by methods of extracting HMs from the composition of soil components: weakly and strongly associated with soil components. A group is understood as a set of metal compounds that are similar in bond strength to soil components, and therefore have a similar migration ability and biological availability.

The group of loosely bound compounds includes HMs that are in an exchangeable and specifically sorbed state on the surface of soil particles. This group of compounds is the most important from an ecological point of view, since they enter plants and migrate to adjacent environments.

The group of tightly bound compounds: includes HMs that are firmly fixed in the structures of primary and secondary minerals of silicate and non-silicate nature, as well as in the composition of hardly soluble salts and stable organic and organomineral compounds.

The accumulation of the main part of pollutants is observed mainly in the humus-accumulative soil horizon, where they are bound by aluminosilicates, non-silicate minerals, and organic substances due to various interaction reactions. The composition and amount of elements retained in the soil depend on the content and composition of humus, acid-base and redox conditions, sorption capacity, and the intensity of biological absorption. Some of the heavy metals are firmly retained by these components and not only does not participate in migration along the soil profile, but also does not pose a danger to living organisms. The negative environmental consequences of soil pollution are associated with mobile metal compounds. [4]. Within the soil profile, the technogenic flow of substances meets a number of soil-geochemical barriers. These include carbonate, gypsum, illuvial horizons (illuvial-ferruginous-humus). Some of the highly toxic elements can transform into compounds that are difficult to reach for plants; other elements that are mobile in a given soil-geochemical environment can migrate in the soil layer, posing a potential hazard to biota. The mobility of elements largely depends on acid-base and redox conditions in soils. In neutral soils, compounds Zn, V, As, Se are mobile, which can be leached during seasonal soil wetting [5, 6].

The accumulation of mobile compounds of elements that are especially dangerous for organisms depends on the water and air regimes of soils: the least accumulation of them is observed in permeable soils of the permeable regime, it increases in soils with a non-flush regime and is maximum in soils with an effusion

regime. With an evaporative concentration and alkaline reaction, Se, As, V can accumulate in the soil in an easily accessible form, and under conditions of a reducing environment, Hg in the form of methylated compounds.

However, it should be borne in mind that under the conditions of a leaching regime, the potential mobility of metals is realized, and they can be taken out of the soil profile, being sources of secondary pollution of groundwater.

It is found that about 70% of lead is received by a person with food. The lead content depends on the region and averages 0.01-1 mg / kg of the product. Cadmium, accumulating in plants, easily gets into food products, and through them into the human body. Arsenic is present in most foods because it is widely distributed in the environment.

Heavy metals, getting into living organisms, accumulate in certain tissues, as a result of which a number of disorders occur at the cellular level. In particular, interacting with the thiol groups of various macromolecules of the body, they are blocked, which subsequently leads to the loss of many reactions by proteins and metabolic disorders. In the blood, heavy metals combine with albumin, which increases their availability to the cells of the body [4].

The ingestion of heavy metals into the human body for a long period negatively affects its hematopoietic organs, and also enhances the formation of free radicals, which leads to lipid oxidation. Heavy metal poisoning increases morbidity and shortens life expectancy, and there is a high stillbirth rate. The constant intake of heavy metals into the body leads to the emergence of a stress factor, as well as to latent changes in metabolism.

Cadmium poisoning leads to a decrease in immunity, increases the risk of diseases of the gonads and kidneys, is the cause of gastritis and anemia, spasm of arterioles and renal arteries. The consequence of poisoning is an increase in blood pressure, which leads to cardiovascular disease [5].

An excess of heavy metals in the body, in particular lead, cadmium and zinc, causes a number of disorders at all levels of the body, which leads to the emergence and intensification of various kinds of human diseases In acidic soils with a predominance of oxidative conditions (podzolic soils, well-drained) such heavy metals like Cd and Hg, they form readily mobile forms. On the contrary, Pb, As, Se form inactive compounds capable of accumulating in humus and illuvial horizons and negatively affecting the state of soil biota. If S is present in the composition of pollutants, a secondary hydrogen sulfide environment is created under reducing conditions, and many metals form insoluble or poorly soluble sulfides [7].

In boggy soils, Mo, V, As, Se are present in sedentary forms. A significant part of the elements in acidic boggy soils are present in forms that are relatively mobile and dangerous for living matter; such are the compounds Pb, Cr, Ni, Co, Cu, Zn, Cd and Hg. In weakly acidic and neutral soils with good aeration, poorly soluble Pb compounds are formed, especially during liming. In neutral soils, compounds Zn, V, As, Se are mobile, while Cd and Hg can be retained in the humus and illuvial horizons. As the alkalinity increases, the risk of soil contamination by the listed elements increases [8].

Plants, like soils, are the most important link in the biological cycle of substances [9]. It should be noted that Zn, Cu, Pb are trace elements necessary for the normal life of plants. However, all metals in high concentrations are toxic to plants; therefore, it is more correct to speak not of toxic elements, but of toxic concentrations of elements for plants.

According to scientific researchers, metals can be arranged in the following toxicity series: Cu> Ni> Cd> Zn> Pb> Hg> Fe [9]. The trace element composition of plants depends on the content of exchangeable forms of these elements in the soil. Plants contain heavy metals in the form of cations. In the system, they can occur in the form of free ions (Zn2 +, Cu2 +, Pb2 +) or as part of complexes with organic compounds.

The perennial organs (bark, roots) of plants absorb and accumulate heavy metals in the main barrier-free, that is, in direct proportion to the content of substances in the soil [10]. A high metal content is characteristic of leaves, generative organs and growth points. Desorption of heavy metals from solid soil sources and transport of soluble metals from the soil mass to the root surface determine their concentration in the rhizosphere. Heavy metals can be transported through the soil by exchange and diffusion.

There are two leading factors in the formation of the elemental composition of plants - genetic and ecological. Their equity participation varies depending on changes in environmental conditions. The ecological factor becomes the leading one in case of technogenic pollution of the habitat of heavy metals, especially their mobile forms. Pollutants enter plants both during root nutrition and by gas exchange and exchange adsorption from the surface of the leaf blade. After penetrating the root system, metal ions can remain there or move to the terrestrial parts of plants. An insignificant amount of trace elements can enter through the leaves from precipitation [10].

The coefficient of capture by plants of atmospheric aerosols of natural and technogenic origin ranges from 40–100%. In this case, toxic elements are characterized by the maximum absorption rates: Cd> Pb> Zn> Cu> Mn> Fe [10].

Plants have several control systems (or physiological barriers) for the intake of toxic elements, for example, absorption membranes, metal deposition in vacuoles, etc.:

- the first barrier to the entry of heavy metals from the soil into the terrestrial part of plants is the covering tissue of the roots, which has a significant selective adsorbing capacity.

- when metals penetrate into the cytoplasm of plant cells, chelate compounds are formed with almost 90% of heavy metals entering the cell, and thereby their participation in metabolism decreases.

- Tolerance to heavy metals in plants is genetically controlled and has a certain capacity, that is, under conditions of their excess in soils and in soil solutions, “forced” root absorption occurs, the ability of roots to retain metals is exhausted, they enter the leaves

and fruits. Therefore, at high pollution, the accumulation of heavy metals in plants is acropetal: roots> stems> leaves> fruits (seeds).

- different periods of plant ontogenesis differ in the degree of involvement of heavy metals in metabolism. The greatest accumulation is usually associated with the period of maximum activity or the period of preparation for rest [11].

One should take into account the fact that metals migrate in the form of ions and soluble metal complexes, their forms associated with dissolved organic or suspended inorganic and organic matter. The binding of metals by suspensions is carried out mainly by microplankton (bacteria, fungi, etc.) and dead remains of microorganisms, the specific surface of which is higher and contains more diverse active groups with high affinity for metals.

The accumulation of metals by microorganisms increases with an increase in their content in the environment. Metals accumulate in cells to a saturating concentration, after which, with a further increase in their content in the medium, the absorption of metals by cells does not increase. The accumulation of cells can last from several seconds to several hours [12].

Agricultural enterprises are the main sources of soil pollution.

At present, the application of fertilizers has been reduced to a minimum, but over a fairly long period of their use, the soils have accumulated a significant amount of heavy metals [13].

The content of heavy metals in fertilizers is shown in Table 1.

Table 1.

The content of heavy metals in fertilizers

The elements	Fertilizers, mg/kg dry matter				
	Nitrogen	Phosphoric	Potash	Manure	Compost
Cu	1,0-15,0	10,0-17,0	186,4	28,8	Up to 1000,0
Zn	1,0-42,0	23,0	182,3	86,4	250,0
Pb	2,0-27,0	3,0-5,0	196,5	14,4	Up to 750,0

It has been established that trace elements in the form of inorganic salts are effective on acidic soils. In soils with a reaction close to neutral, their effectiveness decreases tenfold. In neutral and slightly alkaline soils, inorganic salts cannot contain trace elements in a water-soluble form, that is, in a form accessible to plants, and their effectiveness tends to zero. This is due to their transition into hardly soluble forms (hydroxides, carbonates) and a sharp cessation of their availability for assimilation by plants [14, 15].

For plants, the use of microelements is more effective in the form of metal chelates (chelates), they have a number of advantages. Thus, chelates are stable on all types of soils, regardless of their acidity level.

Manure is a significant source of cover for the removal of trace elements. But only at a rate of 13.5 tons of manure per 1 hectare of crop rotation area according to the organic-mineral fertilization system is almost compensated for their removal by crops, with the exception of manganese and boron.

Table 2.

Grouping of soils by the content of mobile forms of microelements

Group number	Item content	mg per 1 kg soil			
		Boron	Manganese	Copper	Zinc
I	Very low	<0,15	<15	<0,70	<0,30
II	Low	0,15-0,22	15,0-20,0	0,70-1,00	0,30-0,50
III	Average	0,23-0,33	20,1-30,0	1,01-1,50	0,51-0,70
IV	Elevated	0,34-0,50	30,1-45,0	1,51-2,20	0,71-1,00
V	Tall	0,51-0,70	45,1-70,0	2,21-3,30	1,01-1,50
VI	Very tall	>0,7	>70	>3,30	> 1,50

According to soil studies on the content of mobile forms of microelements (Table 3), it can be concluded that the content of boron and manganese is within the normal range. The sulfur content is low and the iron content is very low. Also, the magnesium content is increased.

Table 3.

The content of mobile forms of trace elements in the soil

The mobile form of a trace element	Units	ND for research method	Soil security	Actual value
Mushroom boron	mg/kg	GOST 10 156-88	very high	2,86
Fly manganese	mg/kg	GSTU 4770.1-0017	very high	21,36
Fly sulfur	mg/kg	GSTU 8147-2015	low	5,3
Mushroom magnesium	mg-eq/100 g soil	GOST 26487-85	increased	2,42
Roll iron	mg/kg	GSTU 4770.1-0017	very low	1,56

Trace elements in the soil play an important role in plant nutrition. Since the content of iron and sulfur is low, as a recommendation, you can use sulfur and iron-containing microfertilizers [16, 17]. The ecological state of the field is determined by the level of contamination with radionuclides (Cs137, Sr90), heavy metals

(cadmium (Cd), lead (Pb), copper (Cu), zinc (Zn)), residues of DDT and HCH Implementation of such soil surveys will help farm specialists determine the need for soil chemical reclamation, establish systematic work to improve soil fertility.

Table 4.

Intensity of soil pollution with heavy metals, mg/ g

Heavy metal	Actual content	MPC	CO
Lead	0,74	6,0	0,12
Cadmium	0,13	0,7	0,18
Zinc	1,07	23	0,04
Copper	0,60	3,0	0,2

Analyzing soil contamination with lead, cadmium, zinc and copper, we note that their content was 8.1 times lower than the MPC, 5.38, 21.4 and 5.0 times, respectively. A high content of heavy metals in the soil was observed for zinc, compared with lead, cadmium and copper, it was 1.44, 8.23 and 1.78 times higher, respectively.

So, the migration of heavy metals in the environment undoubtedly creates a potential danger for it, namely: pollution of soils, hydrosphere with heavy metals, etc. The nature and degree of soil stability in relation to pollutants is determined by the nature of the chemical bonds formed between pollutants in the soil solution and in the composition of equilibrium with them mobile compounds in the solid phase of the soil. Here, the simultaneous course of some chemical reactions is possible: precipitation - dissolution of pollutants in the form of hardly soluble precipitates (hydroxides, salts, complex compounds), exchange and non-exchange sorption-desorption on the active surface of solid soil phases. It has been proved that the pH of the medium has a tremendous effect on the migration of heavy metals in the soil, which is explained by the different solubility of their compounds depending on the pH of the soil solution - with an increase in pH, the concentration of mobile forms of metal in the soil solution decreases.

REFERENCES:

1. Ladonin, D.V., Karpukhin M.M. Influence of soil components on the absorption of heavy metals in conditions of technogenic pollution. Soil science. 2008. №11. P. 105–115.

2. Minkina T.M., Motuzova G.V., Nazarenko O.G. Interaction of heavy metals with organic matter of ordinary chernozem. Soil science. 2006. №. 7. P. 804–811.

3. Nikitina, MV Ecological and chemical assessment of HM pollution of the main urban landscapes of Arkhangelsk: diss. ... Cand. Chem. Sciences: 03.02.08. Arkhangelsk, 2011.174 p.

4. Tkachuk A.P. The influence of agricultural toxicants on the agro-ecological state of the soil. Agriculture and forestry. Collection of scientific works of Vinnitsa National Agrarian University. №. 6 (volume 2), 2017. S. 102−109.

5. Yakovets L.A. Agroecological assessment of the state of food photographs of the forest-steppe of the right-bank, depending on the intensity of chemicalization of agriculture. Polish Journal of Science. 2020. №. 27, Vol. 1. P. 9−16.

6. Environmental safety of grain and leguminous products: monograph. Mazur V.A., Tkachuk A.P., Yakovets L.A. Vinnytsia: Works, 2020. 442 p.

7. Mazur V.A., Tkachuk O.P. Grain storage period - as a factor in increasing its environmental safety. Natural resource and energy potentials: directions of conservation, restoration and rational use. m. Poltava. 2019.S. 172−179.

8. Yakovets L. Changes in heavy metals content in winter wheat grain and flour under right-bank forest-steppe conditions. Agriculture and forestry: collection of articles. sciences. works. Vinnytsia. 2019. № 15. C. 214−221.

9. Tkachuk O.P., Chernetska O.O. The main Environmental Problems in Vinnytsia Region in 2015. International youth agricultural forum: collection thesis, 12−13 October, 2016. Vinnytsia: VNAU, 2016 P. 29–30.

10. Zhovinsky E.Ya., Kuraeva I.V. Geochemistry of heavy metals in soils. Kiev: Naukova Dumka, 2002.214 p.

11. Plant resistance to heavy metals. A.F. Titov et al. Petrozavodsk: Karelian Scientific Center of RAS, 2007.

12. Minkina T.M. Accumulation of heavy metals in the soil - plants system under pollution conditions. Scientific journal of the Russian Research Institute of Melioration Problems. Moscow, 2011. №. 4 (04). P. 115.

13. Yakovets L. A., Vatamanyuk A. V. Peculiarities of accumulation of lead and cadmium in grain of cereals during storage. Organic agricultural production: education and science: Collection of abstracts of the International Scientific and Practical Conference (Kiev, November 1, 2018). Kiev, 2018.S. 69–71.

14. Yastreb T.A. The problem of heavy metals in the production and use of phosphorus-containing mineral fertilizers. Ukrainian Journal of Occupational Medicine, Kiev, 2013 №. 3 (36). S. 42–49.

15. Razanov S.F. Effect of bean perennial plants growing on soil heavy metal concentrations. Ukrainian Journal of Ecology, 2018, 8(2), 294-300 doi: 10.15421/2018_341.

16. Melnichuk V. V. Y.M Gumnitsky., Nagursky A.A. Studies of fertilizer migration in the environment. Ecotechnology and resource conservation. 2005. №. 2. S. 48–51

17. Gumnitskiy Y.M., Sabadash V.V., Lyuta ON., Gebi A.V. Studies of the migration of mineral fertilizers in the soil environment. Bulletin of the National University «Lviv Polytechnic». 2007. №. 590. S. 246–250.

BIOLOGICAL SCIENCES

TROPHIC ASSESSMENT OF THE OKA ESTUARY AREA ON THE BASIS OF MODERN DATA ON ABIOTIC AND BIOTIC INDICATORS OF WATER MASSES

Loginov V.,
PhD, senior researcher
Minina L.,
specialist
Krivdina T.,
specialist
Vodeneeva E.,
PhD, junior researcher
Lavrova T.,
PhD, junior researcher
Mushakov D.
laboratory assistant
Nizhny Novgorod branch of FSBSI «VNIRO», Nizhny Novgorod

ОЦЕНКА ТРОФНОСТИ УСТЬЕВОГО УЧАСТКА ОКИ НА ОСНОВАНИИ СОВРЕМЕННЫХ АБИОТИЧЕСКИХ И БИОТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВОДНЫХ МАСС

Логинов В.В.,
к. б. н., старший научный сотрудник
Минина Л.М.,
специалист
Кривдина Т.В.,
специалист
Воденееева Е.Л.,
к. б. н., младший научный сотрудник
Лаврова Т.В.,
к. б. н., младший научный сотрудник
Мушаков Д.В.
лаборант
Нижегородский филиал ФГБНУ «ВНИРО», г. Нижний Новгород
DOI: 10.24412/3453-9875-2021-54-1-13-27

Abstract

The article is devoted identified was the spatial and temporal distribution of phytoplankton pigments in the water masses of the Oka river estuary during the transition to the Volga river was determined using GIS-technologies. Presented was abiotic and biotic data for assessing the level of trophic waters in water area of estuary is the Oka. Determined was the largest and smallest areas for values the biological productivity of the Oka river and the Volga river waters in the buffer zone.

Аннотация

Статья посвящена установлению пространственно-временного распределению пигментов фитопланктона в водных массах устья Оки при переходе в Волгу с помощью ГИС-технологий. Представлены абиотические и биотические данные для оценки уровня трофии вод акватории устьевого участка Оки. Определены наибольшие и наименьшие значения по биопродуктивности вод рр. Ока и Волга в буферной зоне.

Keywords: hydrochemistry, phytoplankton pigments, phytoplankton, zooplankton, trophic status of the reservoir, geographical information systems

Ключевые слова: гидрохимия, пигменты фитопланктона, фитопланктон, зоопланктон, трофический статус водоема, географические информационные системы

Введение

Важнейшим компонентом водных экосистем является фитопланктон, как основной продуцент органического вещества, а также индикатор изменений условий среды обитания [36]. Оценка состояния водных экосистем включает изучение автотрофного звена, так как водоросли создают основной запас органического вещества. Приоритетное положение среди показателей обилия и функционирования фитопланктона занимают фотосинтетические пигменты. Содержание основного пигмента зеленых растений хлорофилла *а* (*Хл а*) считается универсальной характеристикой, позволяющей оценивать обилие, временную и пространственную динамику водорослей, а также трофический статус водоема и качество воды. Уровень биологической

продуктивности лежит в основе типизации водоемов по уровню трофии. Именно зависимость фотосинтеза от концентрации *Хл а* более объективно характеризует величину первичной продукции (*primary production*) трофических типов поверхностных вод [27]. Сама связь интенсивности фотосинтеза с содержанием хлорофилла в планктоне широко известна [2]. Метод расчета первичной продукции по содержанию хлорофилла был предложен еще в 1941 г. Маннингом В.М. и Джеди Р.Е. [39]. Установление трофического статуса включает использование комплексов признаков, дополняющих друг друга. Неоднозначность оценки трофического состояния поверхностных вод в практике экологического мониторинга выражается в том, что в настоящее время используется более 50 различных показателей признаков трофности [27]. Уровень биопродуктивности водного объекта всегда связан с определенными абиотическими характеристиками того или иного трофического типа, а также с характером бассейна и другими компонентами, объединенными в единую систему как внутри водоёма, так и в системе «бассейн – водный объект».

В современной литературе имеется более 40 определений того, что такое эстуарий, устье или устьевая область реки [9]. Конкретно для устьевых областей притоков равнинных водохранилищ с сезонными и многолетними типами регулирования уровня определяют как участок, формирующийся под преобладающим влиянием: 1) речного гидрологического режима при активном участии водохранилищных факторов; 2) гидрологического режима водохранилища при активном влиянии речных факторов. Устьевые области притоков – это места нереста и нагула молоди рыб, именно здесь чаще всего наблюдается натурализация чужеродных видов гидробионтов, для которых важными факторами выступают температурный режим, трофические условия, а также начало и продолжительность вегетационного периода. Исследования устьевых областей притоков водохранилища показывают, что в них наблюдается увеличение продукционных показателей водных организмов (видового богатства, численности, биомассы и т.д.). Это свидетельствует о проявлении краевого эффекта, что позволяет определить их как экотоны. Буферные свойства экотонов являются одними из важнейших. Именно здесь происходит приём, аккумуляция и утилизация органических веществ, приносимых рекой. В результате они препятствуют проникновению загрязненных вод из притоков в водохранилище. Наиболее ярко это наблюдается на реках, протекающих в черте крупных населенных пунктов и промышленных центров. По данным Н. М. Минеевой [23], более обильным и разнообразным планктон становиться в устье р. Оки и на значительном протяжении ее впадения. В этом отношении представляют интерес данные экспедиций «Плавучего университета Волжского бассейна», представленные более чем в 23-х научных публикациях [11]. В работах описаны основные различия в гидроэкологических параметрах вод Оки и Волги в г. Нижнем Новгороде и рассмотрены трансформации этих водных масс по длине водохранилища. Проанализирован характер межгодовой изменчивости характеристик, связанной с различиями в гидрометеорологических условиях. В результате подробных исследований получено, что водные массы рек Волги и Оки на рассматриваемом участке существенно различаются по содержанию биогенных элементов, и, как следствие – по уровню фотосинтетической активности.

Как известно, применение визуализации и анализа в географических информационных системах (ГИС) в настоящее время привлекло широкое внимание исследователей. В статье Т. И. Моисеенко с соавт. [25] продемонстрирована возможность применения ГИС-технологий для оценки биопродуктивности водоемов с использованием нумерической шкалы трофности. ГИС объединяет традиционные операции работы с базами данных с возможностями визуализации на карте и пространственного анализа [6]. По этой причине анализу данных по биопродуктивности водоемов России в ГИС посвящен ряд работ [6, 17, 18, 25]. В своей работе по определению биопродуктивности в устьевом участке р. Ока мы также применили геоинформационные технологии на основании нативных данных концентраций *Хл а* и суммы каротиноидов фитопланктона в вегетационный сезон 2020 г.

Таким образом, оценка уровня трофии по пигментам фитопланктона и абиотическим и биотическим характеристикам вод устьевого участка реки Ока, как экотонной и буферной зоны с использованием ГИС-технологий, является актуальной задачей.

Методы исследований

Исходными данными послужили материалы по концентрации хлорофилла и каротиноидов, собранные в вегетационный период 2020 г. на 96 точках отбора проб воды (0,5 л) акватории устьевого участка реки Ока (г. Нижний Новгород). Координаты точек определялись с помощью GPS-навигатора. Интегрирование данных в геоинформационные системы (ГИС) производилось посредством этих координат. В ГИС созданы географически привязанные векторные слои точек отбора проб. В атрибутивной таблице слоя для каждой точки указана концентрация хлорофилла и каротиноидов.

Карты распределения хлорофилла и каротиноидов устьевого участка р. Оки были созданы в ГИС по векторному слою точек отбора проб с помощью интерполяции – процесса вычисления значений для всех ячеек растра по набору точек измерений. Метод интерполяции – сплайн; в этом методе используется условие минимальной кривизны поверхности, проведенной через входные точки. Выбран тип сплайновой интерполяции «Натяжение», при котором значения ячеек создаваемой поверхности приближаются к значениям реальных замеров.

Полученные растровые поверхности имеют географическую привязку и представляют собой слой из пикселей, в атрибутивной таблице которого для каждой ячейки имеется запись значения кон-

центрации хлорофилла либо каротиноидов. Пространственное разрешение данных карт – 1 м в пикселе.

Растровые карты распределения концентрации хлорофилла и каротиноидов дают возможность выделения и визуализации участков с любыми интервалами значений концентрации, а также создания запросов и вычисления новой пространственной информации. Карты разности построены путём наложения слоёв за соседние месяцы и вычитания значений в ячейках первого месяца из значений последующего.

Карты усреднённых значений созданы посредством наложения карт за все рассматриваемые месяцы и вычисления среднего арифметического для значений в каждом пикселе.

Содержание фотосинтетических пигментов определяли в смешанном 90 % ацетоновом экстракте стандартным спектрофотометрическим методом согласно [10] и методическим рекомендациям [31, 43]. Оценку трофического статуса водных объектов проводили, придерживаясь известных шкал [15].

Отбор проб воды на гидрохимический анализ осуществлялся батометром Руттнера (объём 1 л) с поверхностного горизонта (0,5 м) летом и осенью в трех точках: р. Волга выше впадения р. Ока (по ул. Волжская набережная, напротив футбольного стадиона), устье р. Ока (500 м выше метромоста), р. Волга ниже впадения р. Ока (напротив Чкаловской лестницы), в пределах г. Нижнего Новгорода. В отобранных пробах определялись основные гидрохимические показатели: pH, мутность, цветность, электропроводность, жесткость, кальций, магний, гидрокарбонаты, хлориды, сульфаты, железо общее, биогены (азот минеральный, фосфор минеральный). Минерализация воды в мг/л рассчитывалась как сумма основных ионов. Гидрохимические анализы воды проводились по общепринятым методикам [1, 19, 32]. Определение электропроводности осуществлялось с помощью кондуктометра DIST 3 фирмы Hanna Instrument.

Отбор и обработка проб фитопланктона осуществлялись общепринятыми в гидробиологии методами [21]. Пробы отбирались с поверхностного горизонта, по тем же станциям где отбирались гидрохимические пробы. Фиксацию отобранного материала производили йодно-формалиновым раствором. Концентрирование фитопланктона до 5 мл осуществлялось сочетанием седиментационного и фильтрационного методов [40] с применением отечественных мембранных фильтров марки "МФАС-СПА" (фирма "Владипор") с диаметром пор 1,5-3,0 мкм. Просмотр альгологического материала осуществлялся с применением световой микроскопии (микроскопы PZO (Польша) при 600-кратном увеличении и MEIJI Techno, масляная иммерсия, увеличение ×1000). Перечень руководств, используемых при идентификации видового состава фитопланктона, указывался ранее [8].

Определение, подсчет и измерение водорослей проводили в камере типа "Нажотта", объемом 0,01 мл. Биомасса фитопланктона была вычислена счетно-объемным методом [20]. Объемы водорослей приравнивались к объемам соответствующих геометрических фигур; удельный вес водорослей принимался равным 1. К доминирующим отнесены виды, численность или биомасса которых составляла не менее 10 % от общей величины, к субдоминантам – виды с численностью (биомассой) равной от 5 до 10 % [28].

По средним за сезон значениям биомассы фитопланктона определялась трофность водоема, при этом использовалась известная классификация [33].

Сбор и обработка проб зоопланктона проводилась согласно стандартным методикам [22]. Отбор проб проводился с использованием планктонной сети Джеди с мельничным газом № 74 и входным диаметром 18 см. Идентификация видов, определение их размерных характеристик и подсчет осуществлялись под бинокулярным микроскопом МБС-10 в Рэндом-камере [20]. Индекс доминирования определялся как отношение численности вида к общей численности зоопланктона.

Обсуждение результатов

Пигменты фитопланктона. В весенний период 2020 г. в результате проведенных исследований получено, что водные массы рек Волга и Ока на рассматриваемом участке существенно различаются по содержанию биогенных элементов, и, как следствие – по уровню фотосинтетической активности. Более высокое содержание соединений минерального фосфора и нитратов, в сочетании с меньшими скоростями течения в устьевом участке р. Ока, приводит к заметному развитию водорослей даже в периоды с неблагоприятными погодными условиями. По классификации С.П. Китаева [15] Волга относится к α-евтрофному и β-евтрофному типу, Ока – к β-эвтрофному типу, и даже к политрофному. В речной части Чебоксарского водохранилища Волжская и Окская водные массы не смешиваются полностью и продолжают различаться по биогенному составу гидрохимических параметров и пигментным характеристикам фитопланктона.

В летне-осенний период 2020 г. в поверхностных водах наблюдалось изменение показателя *Хл а* в пределах 11,62 – 126,9 мг/м^3. Визуализация динамики изменений *Хл а* представлена на рисунках 1-2. По трофическому статусу поверхностные воды в устье Оки – политрофные. Основные гидрофизические показатели изменялись не значительно, так в среднем скорость течения составляла 0,2 м/с, температура воды 15,9-16,2 ºС, содержание растворенного кислорода 11,0-11,4 мг/л. Значительные отличия по электропроводности и прозрачности воды отмечены на устьевом участке Оки Чебоксарского водохранилища (табл. 1). Для устьевых участков рек большое значение имеет наличие подпора. От особенностей влияния подпора на гидрологический режим зависит уровень развития фитопланктона и степень его сходства с планктоном водохранилища.

Проведенный корреляционный анализ не выявил зависимости/связи биомассы фитопланктона, прозрачности и освещенности с концентрацией *Хл а* при доверительной вероятности $P<0,95$. Получена статистически достоверная положительная связь

только для концентрации *Хл а* и скорости течения в рр. Волга, Ока (R^2= 0,97; r = 0,98; p = 0,0000007).

Анализ ГИС-карт динамики и разности концентраций Хл а между месяцами показал мезомасштабную пространственно-временную гетерогенность распределения основного фотосинтетического пигмента фитопланктона (рис. 2).

Наибольшие концентрации основного фотосинтетического пигмента фитопланктона сосредоточены в пределах устья Оки. На рисунке 2 показаны разности концентраций хлорофилла между месяцами: июль-август, август-сентябрь, сентябрь-октябрь; можно увидеть, где увеличилось (в легенде эти значения без знака «минуса»), где уменьшилось содержание хлорофилла (в легенде это обозначения с минусом) в пространстве водного зеркала устья Оки и реки Волги. В пространстве выделяется наиболее стабильно себя проявляющая зона продуктивности водных масс у о. Гребнёвские пески в устьевом участке Оки. Это подтверждается и в усредненных данных концентраций *Хл а* за весь вегетационный период 2020 г., представленных на рисунке 2. На рис. 2 так же визуально прослеживается устойчивая буферная зона «пресноводный приток - пресноводный приёмник» высокой продуктивности вод Оки при впадении в Волгу по значениям концентрации *Хл а* фитопланктона. На рисунках 1-4 можно проследить, что показатели концентрации пигментов фитопланктона закономерно изменяются в пространстве и времени и характеризуют проявление краевого эффекта. Это позволяет нам определить эти переходные участки в устье Оки как экотоны [9, с. 416]. А благодаря ГИС-технологиям мы можем визуализировать динамику сложной структуры устьевых областей в районе контакта (буферной зоны) реки и водохранилища на основании показателей концентраций пигментов фитопланктона.

Таблица 1

Некоторые абиотические и биотические показатели в акватории устья р. Ока летом и осенью 2020 г.

месяц	Станции	Электропроводность, мкСим/см	Прозрачность по диску Секки, м	Температура воды, ºС	Трофический статус
июнь	1	208	0,9	17,5	β-мезотрофный
июнь	2	536	1,2	19,92	β-евтрофный
июнь	3	206	1,2	17,5	α-евтрофный
июль	1	208	1	22,6	α-евтрофный
июль	2	536	0,4	20,27	политрофный
июль	3	206	1	23,13	β-евтрофный
август	1	209	1	20,4	β-евтрофный
август	2	599	0,4	20,75	политрофный
август	3	213	1	20,6	β-евтрофный
сентябрь	1	245	2	13,2	α-евтрофный
сентябрь	2	556	0,7	12,6	политрофный
сентябрь	3	246	2	14,2	α-евтрофный
октябрь	1	242	2	6,7	α-мезотрофный
октябрь	2	587	1	5,9	политрофный
октябрь	3	244	2	5,6	α-мезотрофный
Среднее	1	222,4	1,4	16,1	α-евтрофный
Среднее	2	562,8	0,7	15,9	политрофный
Среднее	3	223,0	1,4	16,2	α-евтрофный

Станции: 1 – Волга выше впадения р.Оки, 2 – Устье р.Ока, 3 - р.Волга ниже впадения- р.Оки

Анализ ГИС-карт динамики и разности концентраций каротиноидов между месяцами так же показал мезомасштабную пространственно-временную гетерогенность распределения суммы этих пигментов фитопланктона (рис. 3). На рисунке 4 для визуализации разности концентраций каротиноидов между собой в пространстве и времени они представлены между месяцами: июль-август, август-сентябрь, сентябрь-октябрь. Как и описано было выше на рис. 2, уменьшение содержание каротиноидов в легенде обозначается знаком «минус». Повышенное содержание каротиноидов свидетельствует об участках загрязнения реки [14, 16].

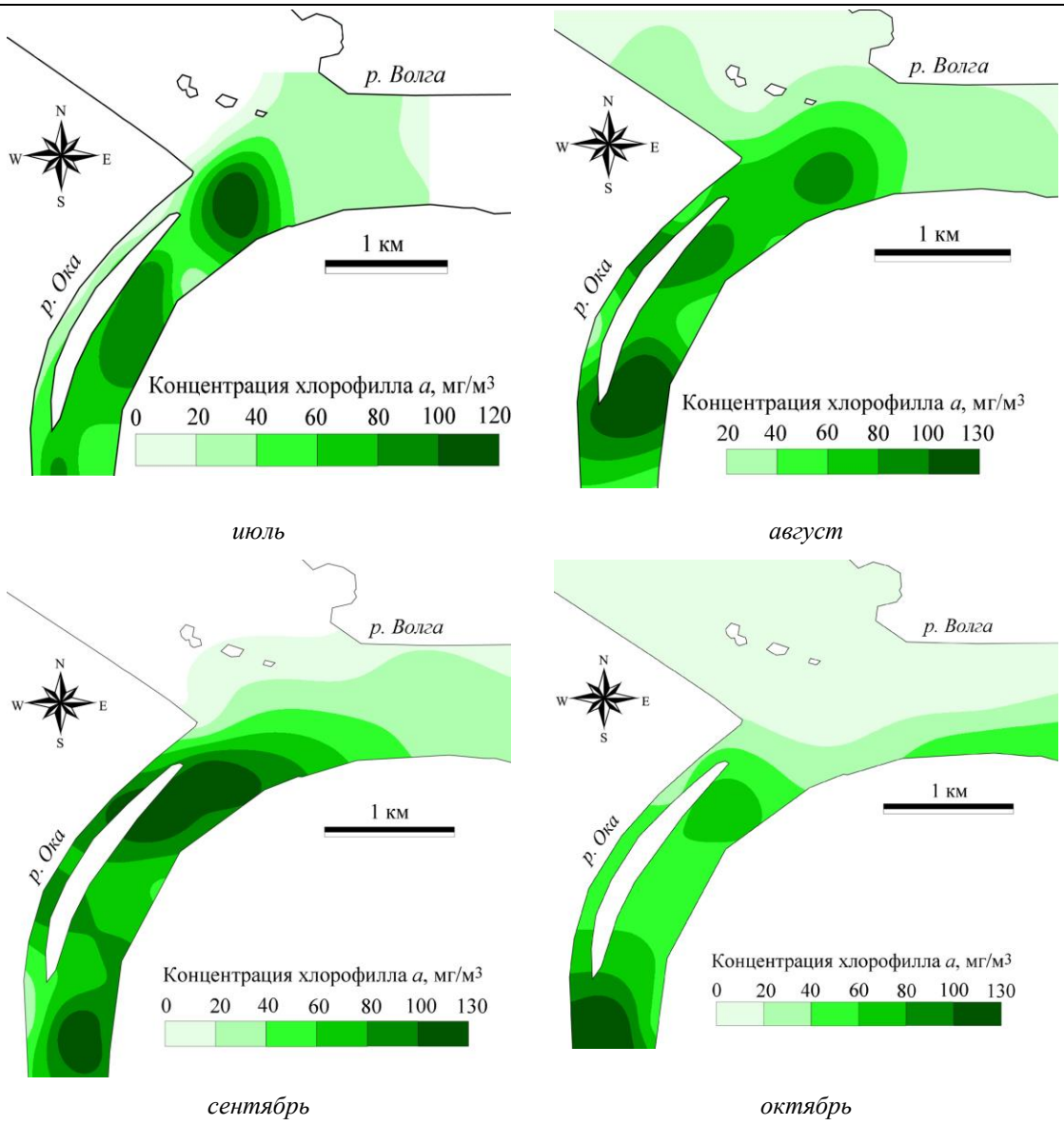

Рис. 1. Динамика пространственно-временного распределения концентрации Хл а фитопланктона при впадении водных масс из устья р. Ока в р. Волга в 2020 г.

Эти изменения проявляются часто в период летне-осенней межени, как указывают в подобных исследованиях некоторые авторы [14, 16]. В нашем случае, выделяется наиболее стабильно себя проявляющая зона загрязнения воды по высоким содержаниям каротиноидов по правому берегу Оки напротив Стрелки (г. Нижний Новгород), т.к. уровень содержания в воде тут железа довольно высок – 1,0 мг/л, а уровень содержания нитритов в полтора раза выше нормы. Так, как показатели содержания железа у правого берега превышают норму, то это может свидетельствовать о загрязнении. Это визуально подтверждается и в усредненных данных концентраций каротиноидов за весь вегетационный период 2020 г., представленных на рисунке 4.

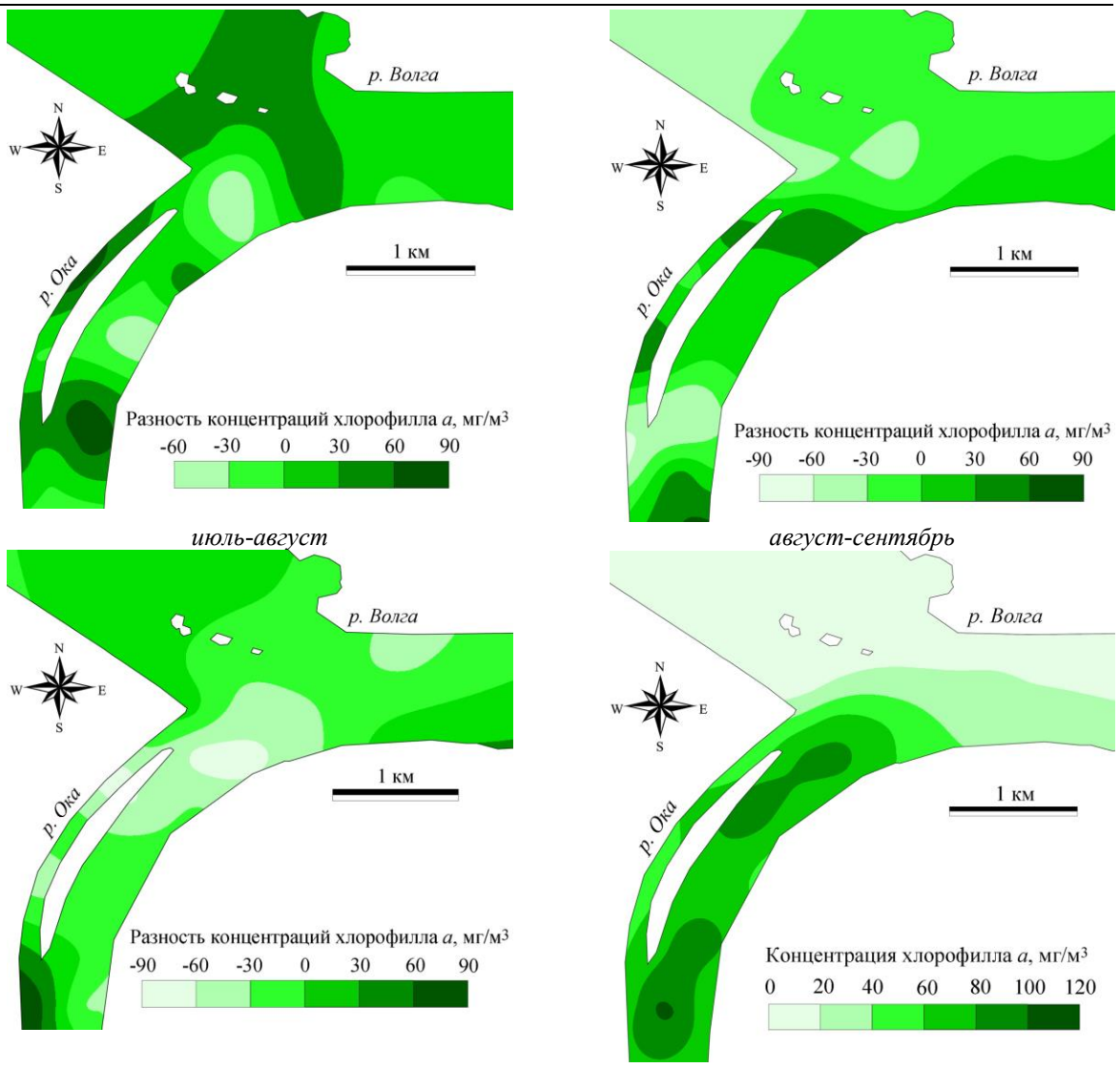

Рис. 2. Динамика пространственно-временного распределения разностей и усредненные концентрации Хл а фитопланктона при впадении водных масс из устья р. Ока в р. Волга в 2020 г.

Гидрохимический анализ. По результатам гидрохимического анализа в нижнем течении р. Ока в районе г. Дзержинска, превышение ПДК наблюдается по среднегодовым концентрациям: ХПК – в 1,8-2,2 раза; БПК5 – в 1,1-1,8; сульфатам – 1,4-1,7; азоту аммонийному – в 1,1-1,9; азоту нитритному – в 1,1-3,4; соединениям железа – в 1,1-2,1; соединениям меди – в 3,0-7,0; соединениям цинка – в 1,3-2,1 раза. В нижнем течении реки Ока вода характеризуется как «грязная» (4 класс, разряд «а»), характерные загрязняющие вещества – соединения меди, азот нитритный и аммонийный, трудно- и легкоокисляемые органические вещества [12, 30]. Вода р. Ока в устьевой части относиться к гидрокарбонатному классу, кальциевой группы, второму типу по классификации Алекина [1]. Гидрохимические показатели в устье Оки в пределах г. Нижнего Новгорода на станциях: 1 – Волга выше впадения р. Оки, 2 – Устье р. Ока, 3 – р. Волга ниже впадения, отличаются по электропроводности, жесткости, минерализации, содержанию биогенов (табл. 2).

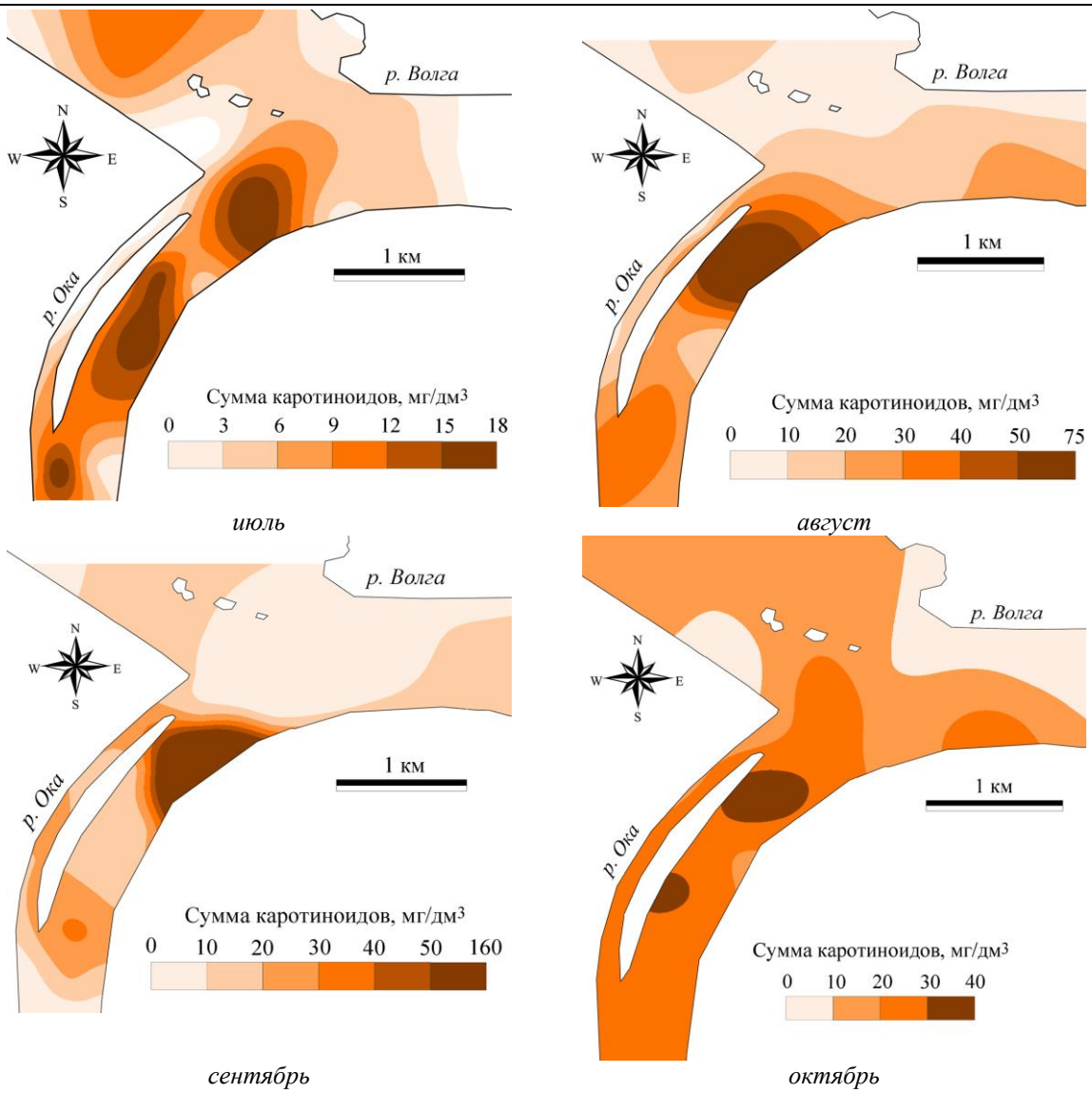

Рис. 3. Динамика пространственно-временного распределения концентрации суммы каротиноидов фитопланктона при впадении водных масс из устья р. Ока в р. Волга в 2020 г.

При сравнении данных, полученных в летний и осенний период, видно, что осенью наблюдалось увеличение значений электропроводности, жесткости, концентраций кальция, гидрокарбонатов и общей минерализации. В то же время по ряду позиций показатели уменьшились. Так, по мутности воды произошло снижение значений на всех станциях. Следует отметить, что летом пробы отбирались в период дождей, поэтому значения мутности были высокими.

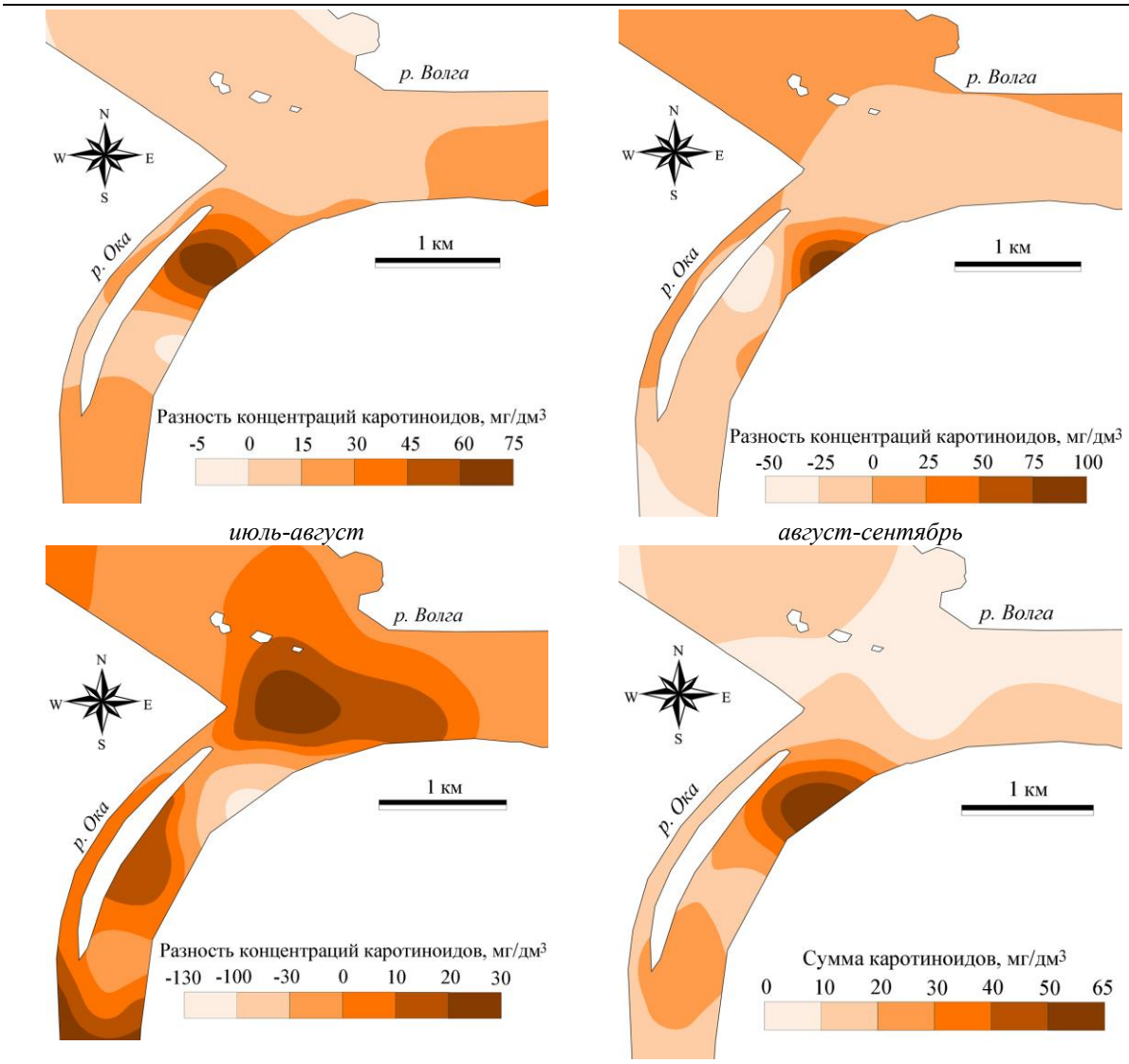

Рис. 4. Динамика пространственно-временного распределения разностей и усредненные значения суммы каротиноидов фитопланктона при впадении водных масс из устья р. Ока в р. Волга в 2020 г.

Таблица 2

Гидрохимический состав воды на отдельных станциях исследуемого участка Волги (в зоне впадения р. Оки)

Показатели	июнь			июль			сентябрь			октябрь		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
pH, ед	7,5	6,9	6,8	7,9	8,6	8,0	7,0	7,6	7,0	7,0	8,4	8,0
Мутность, мг/л	22,1	10,0	21,0	1,1	8,9	1,1	1,1	2,2	1,1	1,1	2,2	1,1
Цветность, град.	163,4	20,4	61,3	30,6	10,2	30,6	137,9	125,6	137,5	65,4	20,4	73,5
Железо, мг/л	0,315	0,146	0,306	0,015	0,015	0,029	0,233	0,262	0,233	0,204	0,175	0,204
Электропроводность, мкСим/см	211	532	219	220	572	256	250	635	250	235	656	252
Жесткость, мг-экв./л	1,8	4,5	2,2	1,9	4,9	2,3	2,3	5,9	2,3	2,3	6,0	2,6
Кальций, мг/л	24,0	60,0	28,0	28,0	64,0	36,0	24,0	78,0	30,0	32,0	90,0	34,0
Магний, мг/л	7,2	18	9,6	6,0	20,4	6,0	13,2	24	9,6	7,2	18,0	12,0
Гидрокарбонаты, мг/л	88,0	176,0	114,4	105,6	202,4	140,8	123,2	176,0	132,0	105,6	176,0	123,2
Хлориды, мг/л	10,0	26,0	12,0	16,0	36,0	14,0	10,0	36,0	12,0	12,0	36,0	14,0
Сульфаты, мг/л	26,7	43,1	29,0	25,9	39,6	30,5	24,1	91,4	22,0	25,0	68,1	27,6
Минерализация, мг/л	155,9	323,1	193	181,5	362,4	227,3	184,5	405,4	205,6	181,8	382,1	310,8
Аммонийный азот, мг/л	0,49	0,306	0,509	0,479	0,230	0,379	0,383	0,306	0,39	0,345	0,134	0,383

Нитриты (N), мг/л	0,017	0,008	0,014	0,009	0,069	0,009	0,01	0,012	0,009	0,008	0,022	0,008
Нитраты (N), мг/л	0,564	0,94	0,611	0,282	1,457	1,269	0,470	0,799	0,47	0,658	1,645	0,705
Минеральный азот (Nmin), мг/л	1,071	1,254	1,134	0,77	1,756	1,657	0,863	1,117	0,869	1,011	1,801	1,096
Минеральный фосфор (Pmin), мг/л	0,055	0,085	0,068	0,155	0,140	0,144	0,100	0,15	0,1	0,095	0,320	0,130
Nmin:Pmin	19:01	14:01	16:01	5,0:1	12,5:1	11,5:1	8,6:1	7:01	8:01	10:01	5:01	8:01
Перманганатная окисляемость, мг O_2/л	12,3	7,6	13,2	11,2	5,6	11,2	12,8	7,2	11,2	12,8	8,0	11,2

Примечание. Станции: 1 – Волга выше впадения р.Оки, 2 – Устье р.Ока, 3 - р.Волга ниже впадения- р.Оки

Показатель цветности воды снизился только на р. Волга. В устье р. Ока и в точке слияния рек он увеличился (очевидно, из-за сильного цветения воды). Ранней осенью цветность воды снизилась на всех станциях. Снизилось также содержание всех форм минерального азота. По-видимому, идет значительный расход минерального азота на развитие водорослей. Концентрации минерального фосфора несколько увеличились (вероятно, за счет частичного разложения водорослей). При этом соотношение минерального азота и минерального фосфора снизилось примерно в 2 раза, хотя и осталось в благоприятном диапазоне для гидробионтов [7]. Перманганатная окисляемость также немного уменьшилась. Максимальное значение минерального азота зафиксировано в октябре в устье реки Ока, что связано с разложением отмерших водорослей. Именно здесь отмечалось высокое значение хлорофилла. Далее было выявлено, что наш диапазон данных по электропроводности в устьевом участке Оки совпадает с данными А. А. Молькова с соавт. [26]. Специалистами из Федерального исследовательского центра Института прикладной физики Российской академии наук была выявлена особенность в створе Стрелки г. Нижнего Новгорода (место слияния р. Ока с р. Волга). Были обнаружены два потока, электропроводность которых различается в 2 раза. В окском (правобережном) потоке она составляет 523 мкСим/см, а в волжском потоке – 224 мкСим/см (2017 г.). В 2018 г. характеризовавшимся малой водностью, электропроводность в окском потоке была намного выше и составила 668 мкСим/см, в то время как в левобережном потоке межгодовых изменений не было зафиксировано. В 2020 г. в окском (правобережном) потоке она составляет 532 мкСим/см в июне, 572 мкСим/см в июле, 595 мкСим/см в августе, а в волжском потоке – 211-219 мкСим/см в июне, 218-256 мкСим/см в июле, 254-260 мкСим/см в августе. Подобные межгодовые различия водной массы р. Ока обусловлены, в первую очередь, гидрометеорологическими особенностями того или иного года, т.к. сток р. Ока практически не зарегулирован. Характеристики волжского потока определяются, прежде всего, режимом регулирования нескольких вышерасположенных по течению гидроузлов, вследствие чего гидрохимический режим р. Волга не подчиняется естественным сезонным закономерностям, присущим незарегулированным водотокам. Электропроводность воды является показателем ее минерализации и позволяет установить генетические различия водных масс, однако гораздо большее гидроэкологическое значение имеет содержание в воде биогенных элементов. Так, концентрация минерального фосфора – важнейшего биогенного элемента, часто лимитирует развитие фитопланктона, вследствие чего считается многими исследователями ключевым абиотическим показателем эвтрофирования [13, 37, 41]. В районе Стрелки г. Н. Новгорода в окском потоке концентрация минерального фосфора в 2018 г. составила 0,106 мг/л, тогда как в волжской водной массе это значение было в 4 раза выше и составило 0,025 мг/л. Такие различия возникают потому, что в волжских водохранилищах минеральный фосфор активно потребляется фитопланктоном. При этом в 2017 г. содержание фосфатов в волжской воде было примерно в 2 раза больше, что является прямым следствием гидрометеорологических особенностей данного года. В связи с циклонической погодой, преобладавшей в июне и июле сего года, в Горьковском водохранилище, расположенном выше по течению, не происходило бурного развития водорослей, в связи с чем минеральный фосфор не потреблялся так активно, как это было в 2018 г. В районе Стрелки г. Н. Новгорода содержание валового фосфора в 2018 г. изменялось от 0,053 мг/л в волжском потоке до 0,195 мг/л в окском потоке. При этом около 50 % от этих величин в обоих потоках представлено органическими формами. В 2017 г. при сходных абсолютных величинах соотношение минеральной и органической форм в волжском потоке было совершенно другим: более 80 % было представлено минеральной формой. Подтверждением тому служат описанные выше причины подобного распределения, связанные с погодными условиями 2017 г. В 2018 г. со сбросами воды с Горьковского гидроузла в нижний бьеф попало гораздо больше клеток водорослей, чем в 2017 году, вследствие более активного «цветения» фитопланктона в Горьковском водохранилище в это время. В 2018 г., во время рейсов экспедиции «Плавучий университет Волжского бассейна» проводилось определение содержания общего азота в воде. Содержание азота в районе Стрелки г. Н. Новгорода составляло в окском потоке 1,204 мг/л, а в волжском – 0,767 мг/л. Определение содержания общего азота в воде рассматриваемого участка позволило оценить соотношение главных биогенных элементов, лимитирующих эвтрофирование – азота и фосфора (TN:TP). Данное соотношение позволяет судить о том, какой биогенный элемент в воде является лимитирующим. При соотношении TN:TP более 20:1 лимитирующим является фосфор, а при соотношении TN:TP менее

10:1 – азот [35, 38, 42, 44]. В промежуточном диапазоне между этими границами любой из элементов может лимитировать развитие фитопланктона, либо же может наблюдаться колимитация. В работе [27], отмечается, что «нормальные» оптимальные значения TN:TP меняются в водной среде от 10:1 до 16:1, а среднее значение TN:TP= 15:1 и близко к таковому в клетках фитопланктона. С другой стороны соотношение TN:TP также зависит от генезиса водной массы. На участке ниже устья р. Ока в районе Чкаловской лестницы г. Н. Новгорода (ст. 3, табл. 2) в волжской водной массе соотношение TN:TP составило 16:1 летом, а осенью – 8:1. В самом устье р. Оки в водной массе соотношение TN:TP составило 14:1 летом, а осенью – 7:1. Данное обстоятельство означает, что лимитирование развития фитопланктона в окской воде происходит именно по содержанию азота только осенью. Иными словами, развитие гидробионтов в водной экосистеме устья Оки осенью лимитируется преимущественно азотом.

Таким образом, распределение гидрохимических показателей в устьевом участке р. Ока имеет свою специфику. В каждом конкретном случае картина распределения различных составляющих водных параметров будет зависеть в первую очередь от индивидуального состава вод втекающего водотока и приёмного водоёма. С гидрохимической точки зрения устьевую область можно упрощенно представить как линию смешения вод, на одном конце которой – типичные воды впадающего водотока, на другом – воды, обладающие свойствами приемного водоёма. Но характеристики этих «конечных точек» очень непостоянны. Характер распределения растворенных веществ в устьевом и приустьевом участке рек не будет определяться простым законом смешения вод. Устьевая область реки по В. Н. Михайлову [24] определяется, как «географический объект, охватывающий район впадения водотока в приёмный водоём (океан, море, озеро, другой водоток и др.), строение и свойства которого формируются под действием специфических устьевых процессов – динамического воздействия вод, отложения и переноса взвешенного вещества (наносов)». К данному перечню процессов следует добавить и особые гидробиологические процессы устьевого участка р. Ока, касающиеся, в частности, временной и пространственной динамики развития фитопланктона и зоопланктона.

Фитопланктон. Биомасса фитопланктона, косвенной характеристикой которой является содержание *Хл а* в воде, позволяет судить о трофическом статусе водного объекта, служа, таким образом, показателем, комплексно характеризующим весь спектр абиотических факторов, охватывающий как гидрометеорологические условия, так и уровень загрязненности вод.

Таксономическое разнообразие фитопланктона было представлено 82 таксонами водорослей рангом ниже рода. Выявленные водоросли принадлежали к 8 отделам: зеленые – 41, диатомовые – 21, синезеленые – 10, золотистые – 4, криптофитовые и эвгленовые – по 2, желтозеленые и динофитовые – по 1. Удельное видовое богатство (число видов в пробе) варьировало от 16 до 53.

В летний период распределение фитопланктона на участке Волги в месте впадения Ока по станциям было неравномерным, трофическое состояние на акватории менялось от мезотрофного до эвтрофного уровня. Значения численности планктонных водорослей варьировали от 2,14 до 16,98 млн. кл./л, биомассы – от 1,25 до 8,19 г/м^3, видового богатства – от 19 до 37 (табл. 3) и оказались максимальными в устье р. Ока. В волжских водах (выше и ниже устья р. Ока) видовое богатство оказалось в 2 раза ниже, значения численности и биомассы уменьшались до 6 раз, причем это отмечалось как выше устьевого участка, так и после разбавления волжских вод водами р. Ока. Различались ценотические комплексы фитопланктона – в волжских водах по численности отмечалось доминирование золотистых и диатомовых и полное господство последних в сложении биомассы (*Aulacoseira ambigua*, *Skeletonema subsalsum*, *Stephanodiscus hantzschii*). В Оке усиливается ценотическая значимость зеленых хлорококковых водорослей при сохранении доминирования диатомей, в составе доминант наряду с *Aulacoseira ambigua*, отмечен *Stephanodiscus hantzshii* – частный доминант в весенних альгоценозах окских вод.

В осенний период выявленные выше тенденции сохранялись. Отмечались существенные различия в развитии (разница по биомассе составляла в 19-26 раз) и степени таксономического разнообразия (в 2-3 раза) окских и волжских вод. Численность и биомасса в эти сроки исследования менялась от 19,05 до 73,98 млн. кл./л, биомасса – от 1,72 до 45,25 г/м^3, трофическое состояние – от мезотрофного до гипертрофного. Отмечалось четкое различие в структуре альгоценозов по станциям. На станции выше устья Оки в структуре фитопланктона выявлено влияние вод, поступающих из Горьковского водохранилища – отмечалось преобладание цианобактерий, которые создавали до 93 % численности и 63 % биомассы, доля диатомовых составляла менее 10 % численности и 36 % биомассы. В р. Оке зарегистрировано сильное «цветение», вызванное массовым развитием центрических диатомовых (до 95 % биомассы), среди которых в числе доминант по-прежнему *Stephanodiscus hantzshii* и появляется представителей летних альгоценозов – *Cyclotella meneghiniana*. В Оке отмечалось снижение доли цианобактерий, при этом доля зеленых хлорококковых возрастала. Ниже впадения окских вод происходило обеднение состава и снижение степени развития растительного планктона. В альгоценозах вновь возрастала доля цианобактерий (до 93 % численности и 49 % биомассы) и снижалась доля диатомей (до 47 %).

Таблица 3

Структурные характеристики фитопланктона на отдельных станциях исследуемого участка Волги (в зоне впадения р. Оки)

№ п/п	Показатели	Станции					
		1	2	3	1	2	3
		лето			осень		
1	Численность, млн кл./л	2,14	16,98	2,50	19,05	73,98	24,41
2	Биомасса, г/м^3	1,25	8,19	1,43	1,72	45,25	2,38
3	Доминирующие виды (по биомассе)	*Aulacoseira ambigua, Skeletonema subsalsum, Stephanodiscus hantzschii*	*Aulacoseira ambigua, Stephanodiscus hantzschii i*	*Aulacoseira ambigua, Skeletonema subsalsum, Stephanodiscus hantzschii*	*Aulacoseira granulata, Microcystis aeruginosa, Aphanizomenon flos-aquae*	*Cyclotella meneghiniana, Stephanodiscus hantzschii*	*Aulacoseira granulata, Stephanodiscus hantzschii Microcystis aeruginosa, Aphanizomenon flos-aquae*
4	Удельное вид. богатство (число видов в пробе)	19	37	16	19	53	42
5	Трофический статус (по биомассе фитопланктона)	мезотрофный	эвтрофный	мезотрофный	мезотрофный	гипертрофный	мезотрофный
6	Соотношение численности основных групп фитопланктона в %:						
	Зеленые	4,2	40,3	6,1	<1	63,1	<1
	Диатомовые	73,0	38,0	71,7	6,6	24,2	5,9
	Синезеленые	1,9	20,6	–	36,4	60,4	93,1
	Золотистые	20,0	<1	20,8	–	<1	–
	Соотношение биомассы основных групп фитопланктона в %:						
	Зеленые	6,2	7,9	4,3	<1	3,3	3,1
	Диатомовые	85,0	90,6	84,8	36,4	95,9	47,3
	Синезеленые	<1	<1	–	62,9	<1	48,8
	Золотистые	3,8	<1	4,1	–	<1	–
8	Индексы сапробности (численность/биомасса)	1,71/2,14	2,21/2,25	1,70/1,87	2,07/2,14	2,40/2,63	2,07/2,31

Примечание. Станции: 1 – Волга выше впадения р.Оки, 2 – Устье р.Ока, 3 - р.Волга ниже впадения- р.Оки

Индексы сапробности, отражающие степень органического загрязнения водных масс, характеризовали данный участок Волги в летний сезон как β-мезосапробный с III классом качества воды –умеренно загрязненная, в начале осени – как β-α мезосапробный с III-IV классом качества воды –умеренно загрязненная – грязная. Далее в пределах участков Оки выше устья в частности - акватории у г. Дзержинск Нижегородской области по нашим данным развивался зелено-диатомовый растительный планктон. В группе доминирующих видов – типичный эвтрофный комплекс, представленный центрическими диатомеями родов Stephanodiscus, Aulacoseira и Cyclotella, а также зеленых хлорококковых водорослей.

Зоопланктон. Были проведены исследования распределения численности и биомассы зоопланктона в устьевом участке Оки (табл. 4).

Таблица 4

Некоторые структурные характеристики зоопланктона на отдельных станциях исследуемого участка Волги (в зоне впадения р. Оки)

№ п/п	Группа	1	2	3
1	численность, экз/м^3			
2	Коловратки	1868	134662	1032
3	Ветвистоусые	708	18754	511
4	Веслоногие	835	6881	727
5	Всего	3411	160297	2271
6	биомасса, мг/м^3			
7	Коловратки	3,92	76,10	2,3
8	Ветвистоусые	3,83	92,10	3,1
9	Веслоногие	9,31	13,10	4,9
10	Всего	17,1	181,3	10,3

Примечание. Станции: 1 – Волга выше впадения р.Оки,
2 – Устье р.Ока, 3 - р.Волга ниже впадения- р.Оки

Как видно из таблицы 4, на процессы эвтрофирования водной экосистемы указывает резкое увеличение показателей численности и биомассы ветвистоусых и коловраток в зоопланктоне. Так в самой Оке, при впадении в зоопланктоне отмечено 7 видов зоопланктеров: 3 вида коловраток, 3 вида ветвистоусых ракообразных и 1 вид веслоногих рачков с их личиночными стадиями. Преобладающими по численности являются коловратки, доминирующим видом - *Brachionus urceus* Linnaeus. Основу биомассы составляет *Bosmina longirostris* (O.F. Muller) из ветвистоусых рачков. В целом показатели биомассы невелики. Численность может достигать высоких значений за счет мелких коловраток. Разнообразие на биостанции низкое (1,9 бит/экз.). Кормность участка для планктофагов следует оценивать как низкую.

На участке р. Волга до впадения р. Ока в зоопланктоне присутствуют 11 видов зоопланктеров: 7 видов коловраток, 2 вида ветвистоусых ракообразных и 2 вида веслоногих рачков с их личиночными стадиями. Величины численности и биомассы крайне низкие. По численности преобладают коловратки, основу биомассы составляют веслоногие ракообразные. Видовое разнообразие на станции более высокое (2,8 бит/экз) за счет большой выравненности.

На участке р. Волга до после впадения р. Ока в зоопланктоне отмечены 10 видов зоопланктеров: 6 видов коловраток, 2 вида ветвистоусых ракообразных и 2 вида веслоногих рачков, а также их личиночные стадии. Количественные показатели самые низкие из названных станций. Соотношение групп и видовое разнообразие станции такие же, как на станции до впадения р. Ока.

Оценка трофности. Как известно [27], биотический баланс является универсальным критерием трофического статуса водоёма. В то же время известно, что основной фундаментальной характеристикой экологического состояния является соотношение скоростей продукции и деструкции органических веществ в любой экосистеме и биосфере в целом, т.е. биотический баланс. Поэтому, для водных экосистем трофическое и экологическое состояние по существу являются синонимами [27]. Интегральной характеристикой биотического баланса является индекс биотического взаимодействия между планктонными животными B_z и водорослями B_f [3, 4, 27]. Это отношение B_z/B_f отражает трофическое состояние водных масс, с увеличением трофности его значения снижаются, как видно из таблицы 5.

Таблица 5

Некоторые критерии трофности водных экосистем [15, 27, 33]

Сезон	Критерий	1		2		3	
		значения	тип трофии	значения	тип трофии	значения	тип трофии
весна лето осень	Средняя био-масса фито-планктона за вегетационный период B_f, мг/л	1,48	мезо-трофный	26,72	гипер-троф-ный	1,90	мезо-трофный
весна	Отношение биомассы зоо-планктона B_z к биомассе фи-топланктона B_f	< 0,5:1	эвтро-фный	< 0,5:1	эвтро-фный	< 0,5:1	эвтро-фный
лето		< 0,5:1	эвтро-фный	< 0,5:1	эвтро-фный	< 0,5:1	эвтро-фный
осень		< 0,5:1	эвтро-фный	< 0,5:1	эвтро-фный	< 0,5:1	эвтро-фный
весна	Концентрация хлорофилла *а*, мг/м^3	9,5	β-мезо-трофный	40,22	β-евтро-фный	18,59	α-евтро-фный
лето		23,10	β-евтро-фный	62,57	поли-трофные	24,70	β-евтро-фный
осень		12,75	α-евтро-фный	75,69	поли-трофные	11,38	β-мезо-трофный
лето	Отношение концентраций N:P	12	гипер-троф-ный	13	гипер-троф-ный	13	гипер-троф-ный
осень		9	-	6	-	8	-

Примечание. Станции: 1 – Волга выше впадения р.Оки, 2 – Устье р.Ока, 3 - р.Волга ниже впадения- р.Оки

Низкие значения индекса B_z/B_f в акватории устья Оки и на всех участках Волги выше и ниже впадения показывает по известной шкале [5] тип трофии - эвтрофный (< 0,5 : 1). По классификации известных шкал С. П. Китаева [15] для водных объектов трофический статус устья р. Ока по среднему содержанию *Хл а* в летне-осенний период может быть оценен как политрофный, а по средней биомассе фитопланктона за вегетационный период по И. С. Трифоновой [34] как гипертрофный. Также гипертрофным считается весь участок акватории устья Оки летом по отношению концентраций биогенов N:P [12, 27] (табл. 5).

Выводы

Таким образом, на участках р. Ока выше устья и в самом устье водотока осредненные количественные показатели зоопланктона за вегетационный период 2020 г. находились на невысоком уровне и оказались малокормные для зоопланктонофагов. По классификации известных шкал для оценки трофии водных экосистем устье Оки оценивается на основании: 1) биотического индекса B_z/B_f как эвтрофное; 2) отношению концентраций N:P как гипертрофное; 3) по средней биомассе фитопланктона за вегетационный сезон как гипертрофное; 4) по концентрации *Хл а* в фитопланктоне как политрофное. По индексам сапробности и гидрохимическому составу вода классифицируется как умеренно загрязненная – грязная.

Анализ содержания *Хл а* в фитопланктоне показывает, что в устье Оки трофический статус по времени остается политрофным до осени. В пространственном отношении на Волге по уровню снижения *Хл а* фитопланктона уровень трофии изменяется от ультраолиготрофного до β-мезотрофного. По правому берегу Волги под воздействием окских вод уровень трофии изменяется от политрофного до β-евтрофного. Визуализация разности концентраций *Хл а* фитопланктона благодаря ГИС-технологиям позволяет четко проследить в пространстве и времени динамику изменений и делать выводы о трофии локальных участков рр. Ока и Волга. Благодаря ГИС-технологиям выделено наиболее стабильно себя проявляющие зоны: 1) высокой биопродуктивности водных масс у о. Гребнёвские пески в устьевом участке Оки; 2) постоянное «проблемное» пятно загрязнения воды по высоким содержаниям суммы каротиноидов по правому берегу Оки напротив Стрелки (г. Нижний Новгород).

Проведенные исследования в устьевом участке р. Ока показали эффективность использования показателей содержания пигментов фитопланктона при установлении буферных эффектов экотонной зоны переходов водных масс «река-водохранилище» с применением ГИС-технологий, что и позволило установить участки с наибольшей/ наименьшей биопродуктивностью водных масс в пространстве и времени.

Воплощение результатов и практическое значение

Результаты исследования могут быть использованы в дальнейшем при разработке природоохранных мероприятий направленных на сохранение оптимального функционирования экосистемы р. Ока, улучшение экологического состояния и для решения других задач в области рационального природопользования и охраны водных биологических ресурсов в Нижегородском регионе.

Для оценки экологического состояния реки Волга и её притоков с целью снижения антропогенного воздействия и сокращения сброса загрязнённых сточных вод, ликвидации объектов накопленного экологического вреда окружающей среде, представляющих экологическую угрозу водным объектам Волжского бассейна в рамках национального проекта «Сохранение и предотвращение загрязнения реки Волги» («Оздоровление Волги») в рамках направления стратегического развития Российской Федерации «Экология».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Алекин О. А. Основы гидрохимии. Л.: Гидрометеоиздат, 1970. С. 120-121.
2. Алимов А.Ф., Голубков С.М. Эвтрофирование водоёмов и структура сообщества гидробионтов // Биология внутренних вод, 2014. № 3. С. 5-11.
3. Алимов А. Ф. Закономерности изменений структурных и функциональных характеристик сообществ гидробионтов // Гидробиологический журнал, 1995. Т. 31, № 5. С. 3–11.
4. Алимов, А.Ф. Элементы теории функционирования водных экосистем. СПб.: Наука, 2000. 147 с.
5. Андроникова И. Н. Структурно-функциональная организация зоопланктона озерных экосистем разных трофических уровней // Автор. дис. ...д-ра биол. наук: 03.00.18 / Андроникова Инна Николаевна. Л., 1989. 39 с.
6. Архипова О. Е., Сурков Ф. А. Геоинформационные системы – Современный способ ведения комплексных гидробиологических баз данных // "Комплексные гидробиологические базы данных: ресурсы, технологии и использование"; "Адаптации гидробионтов": Материалы молодежных школ (г. Азов, октябрь 2005 г.) / Отв. ред. Г. Г. Матишов. Ростов н/Д: Изд-во ЮНЦ РАН, 2005. С. 47-58.
7. Баранов И. В. Основы биопродукционной гидрохимии. М.: Легкая и пищевая пром-сть, 1982. 112 с.
8. Воденеева Е. Л., Кулизин П. В. Водоросли Мордовского заповедника (аннотированный список видов). М., 2019. 62 с. [Флора и фауна заповедников. Вып. 134]
9. Гидроэкология устьевых областей притоков равнинного водохранилища / Ред. А. В. Крылов; Ин-т биол. внутр. вод им. И. Д. Папанина РАН. Ярославль: Филигрань, 2015. 466 с.
10. ГОСТ 17.1.04.02.90. Государственный контроль качества воды. Методика спектрофотометрического определения хлорофилла «а». М.: Изд-во стандартов, 2003. С. 587-600.
11. Грантовый проект Русского географического общества «Экспедиция Плавучий университет Волжского бассейна», 2019 г. Отчет 2019 г. [Электронный ресурс]. Нижний Новгород, 2019. 30 с. URL: http://www.vsuwt.ru/nauka/plavuchiy-universitet/rezultat-rabot-za-2019-god/prezentatsiya-proekta-ppt.php (дата обращения 04.02.2020)
12. Джамалов Р. Г., Никаноров А. М., Решетняк О. С., Сафронова Т. И. Воды бассейна Оки: химический состав и источники загрязнения // Вода и экология, 2017, № 3. С. 114-132.
13. Ерина О. Н., Терешина М. А., Колий В. М., Вилимович Е. А., Соколов Д. И. Влияние гидрометеорологических условий на гидроэкологическое состояние речного участка Чебоксарского водохранилища // Вестник ВГАВТ, 2018. № 57. С. 26-38.
14. Кириллова Т. В., Котовщиков А. В. Растительные пигменты как показатели экологического состояния Новосибирского водохранилища // Мир науки, культуры, образования, 2009. №1 (13). С. 26-30.
15. Китаев С. П. Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. 395 с.
16. Котовщиков А. В. Пигментные характеристики альгоценозов речной системы Оби // Автор. дис. … канд. биол. наук: 03.02.08 / Котовщиков Антон Виктрович. Барнаул, 2012. 24 с.
17. Логинов В. В., Минина Л. М., Кривдина Т. В. Определение трофического статуса Горьковского и Чебоксарского водохранилищ с помощью ГИС-технологий [Электронный ресурс] // Сборник публикаций научного журнала «Chronos»: «Естественные и технические науки в современном мире». Выпуск 5(26) от 03.07.2019. М.: Научный журнал «Chronos», 2019. С. 4-7. https://chronos-journal.ru/archive/new/Chronos_nat_july_2019.pdf
18. Лурье И. К. Основы геоинформатики и создание ГИС. Дистанционное зондирование и географические информационные системы. Часть 1. / Под ред. А М. Берлянта. М., 2002. 140 с.
19. Лурье Ю. Ю. Унифицированные методы анализа вод. М.: Химия, 1971. 376 с.
20. Медников Б. М., Старобогатов Я. И. Рэндом-камера для подсчета мелких биологических объектов // Труды ВГБО. 1961. Вып. 11. С. 426-428.
21. Методика изучения биогеоценозов внутренних водоёмов / Отв. ред. Ф. Д. Мордухай-Болтовской. М.: Наука, 1975. 240 с.
22. Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Зоопланктон и его продукция / Ред. Г. Г. Винберг, Г. М. Лаврентьева. Л.: ГосНИОРХ, ЗИН АН СССР, 1982. 33 с.
23. Минеева Н. М., Абрамова Н. Н. Пигменты фитопланктона как показатель экологического состояния Чебоксарского водохранилища // Водные ресурсы, 2009. Т. 36. № 5. С. 588-596.
24. Михайлов В. Н. Устья рек России и сопредельных стран: прошлое, настоящее и будущее. М.: ГЕОС, 1997. 413 с.
25. Моисеенко Т. И., Гапеева М. В., Рогов А. В. Оценка биопродуктивности водоемов с помощью ГИС. [Электронный ресурс] // Сделано в России, 2006. 114. С. 1080-1085. http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2006/114.pdf
26. Мольков А. А., Капустин И. А., Ермаков С. А., Лещев Г. В. Исследование зон смешения Волги с ее притоками на участке Н.Новгород – Козьмодемьянск по данным флуориметра BBE

MOLDAENKE // Вестник ВГАВТ, 2019. №61. С. 19-27.

27. Неверова-Дзиопак Е., Цветкова Л. И. Оценка трофического состояния поверхностных вод: монография. СПб.: СПбГАСУ, 2020. 176 с.

28. Охапкин А. Г. Структура и сукцессия фитопланктона при зарегулировании речного стока (на примере р. Волги и её притоков) // Дис. … докт. биол. наук: 03.00.16 / Охапкин Александр Геннадьевич. СПб, 1997. 280 с.

29. Пидгайко М. Л., Александров Б. М., Иоффе Ц. И., Максимова Л. П., Петров В. В., Саватеева Е. Б., Салазкин А. А. Краткая биологопродукционная характеристика водоёмов Северо-Запада СССР // Известия ГосНИОРХ, 1968. Т. 67. С. 205-228.

30. Решетняк О. С., Гришанова Ю. С. Многолетние и сезонные изменения развития фитопланктона и оценка состояния реки Ока в районе г. Дзержинск // Вода: Химия и Экология, 2016. № 3. С. 14-21.

31. Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем / Под ред. В. А. Абакумова. СПб.: Гидрометеоиздат, 1992. 320 с.

32. Семенова А. Д. Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши. Л.: Гидрометеоиздат, 1977. 541 с.

33. Трифонова И. С. Закономерности изменения фитопланктонных сообществ при эвтрофировании озер // Дис. ... д-ра биол. наук в форме научного доклада: 03.00.50 / Трифонова Инна Сергеевна. СПб., 1994. 77 с.

34. Трифонова И. С. Экология и сукцессия озерного фитопланктона. Л., 1990. 184 с.

35. Трифонова И. С., Игнатьева Н. В., Маслевцов В. В., Островская Т. А. Зависимость показателей летнего планктона от содержания биогенных элементов в малых озерах Латгалии с разным уровнем антропогенного эвтрофирования // Экология, 1986. № 5. С. 31–38.

36. Шаров А. Н. Фитопланктон холодноводных озерных экосистем под влиянием природных и антропогенных факторов // Автор. дис. … докт. биол. наук: 03.02.10 / Шаров Андрей Николаевич. Борок, 2020. 44 с.

37. Conley D.J. et al. Controlling eutrophication: nitrogen and phosphorus // Science, 2009. V. 323. N. 5917. P. 1014–1015.

38. Hoyer M. V., Jones J. R. Factors affecting relation between phosphorus and chlorophyll a in midwestern reservoirs // Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 1983. V. 40. N. 2. P. 192–199.

39. Manning W. M., Juday R. E. The chlorophyll content and productivity of some lakes in Northeasten Wisconsin // Transaction - Wisconsin Academy Sciences, 1941. Vol. 33. P. 363–392.

40. Okhapkin A. G., Genkal S. I., Sharagina E. M., Vodeneeva E. L. Structure and dynamics of phytoplankton in the Oka river mouth at the beginning of the 21th century // Inland Water Biology. № 4. V. 7. 2014. P. 357-365.

41. Paerl H. W., Hall N. S., Calandrino E. S. Controlling harmful cyanobacterial blooms in a world experiencing anthropogenic and climatic-induced change // Science of the Total Environment, 2011. V. 409. N. 10. P. 1739–1745.

42. Sakamoto M. Primary production by phytoplankton community in some Japanese lakes and its dependence on lake depth // Archiv für Hydrobiologie, 1966. V. 62. N. 1. P. 1–28.

43. SCOR-UNESCO Working Group N 17. Determination of photosynthetic pigments in sea water // Monographs on oceanographic methodology. P.: UNESCO, 1966. P. 9-18.

44. Seip K.L. Phosphorus and nitrogen limitation of algal biomass across trophic gradients // Aquatic Sciences, 1994. V. 56. N. 1. P. 16–28.

CHEMICAL SCIENCES

RGULARITIES OF SORPTION CU (II) IONS BY NATURAL AND ACTIVATED BENTONITE CLAYS

Fedenko Yu.
Ph.D., assistant, The Department of Technology of Inorganic Substances, Water Purification and General Chemical Technology, Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute
DOI: 10.24412/3453-9875-2021-54-1-28-30

Abstract
The phase and chemical composition of native samples of bentonite clay was determined. The acid activation of bentonites was carried out. The regularities of Cu^{2+} sorption by native and activated bentonite clays of Ukrainian origin (sorption isotherms, kinetic curves) are studied. The rational conditions for the sorption of Cu (II) ions by bentonites are determined.

Keywords: activation, sorption, bentonite, copper (II) ions, isotherm, kinetics.

Introduction

Bentonite clay got its name from Fort Benton, located in the state of Wyoming (USA), where their first commercial production was begun at the end of the XIX century. In world practice, it is customary to attribute finely dispersed clays to bentonites, consisting of not less than 70% of the minerals of the smectite group (montmorillonite, beidellite, nontronite, saponite and hectorite), which have a high binding ability, thermal stability, as well as adsorption and catalytic activity [1, p. 17].

In the form of impurities, bentonites contain quartz, calcite, cristobalite, feldspar, hydromica, mixed-layer minerals, zeolites, palygorskite, halloysite, kaolinite, etc.

The most widely used bentonite clay is traditionally used in the metallurgical industry, as a binder for pelletizing iron ore concentrates; drilling, for the preparation of drilling fluids; foundry industry, as a binder in the manufacture of foundry molds; chemical, rubber, paper, pharmaceutical industries, construction, agriculture, etc. There are more than 200 directions of use of bentonite. Relatively new and very promising areas include the production of organoclay of different quality and destination. This group includes various types of layered-silicate nanocomposites, anhydrous foundry mixtures, sealants, and hydrocarbon-based drilling fluids.

Currently, there has been a significant increase in interest in the creation of new environmentally friendly sorbents based on natural clay materials and aluminosilicates [2, p. 24]. Compared with other inexpensive adsorbents, clay and composite materials based on them have a higher adsorption capacity. Bentonites, montmorillonites, kaolinites, chlorites and other clay minerals widely used due to their high specific surface, chemical and mechanical stability, variation of surface and structural characteristics and low cost [3, p. 117; 4, p. 48]. Of particular interest are materials with layered column structure derived from natural clay by modifying it inorganic polyhydroxocations [5, p. 235].

The purpose of this work is to study the structural and sorption properties of a material of natural origin – bentonite clay Dashukivsky deposit of Cherkassy region (natural and activated) on the example of cation Cu^{2+}.

Materials and methods

The XRF analysis of bentonite samples was conducted by x-ray diffractometer DRON-3M (Cu-radiation).

The chemical analysis was conducted by X-ray fluorescence spectrometer (Rigaku Corp.).

Acid activation of bentonite clays was conducted by heating of samples in water solution of 2 M hydrochloric acid at the temperature 90 °C during 2 hours.

The following reagents were used as materials: copper (II) 5-water sulfate (h.ch.) (1 g / dm^3 solution), complexone (III) (0.05 N solution), ammonia buffer mixture (pH 10), murexide indicator (dry mixture with NaCl in the ratio 1: 100).

The analysis of residual amounts of Cu^{2+} was carried out using the standard copper determination method with complexometric titration

To construct an isotherm of adsorption in 5 conical flasks, weighing bentonite weighing 1 g was added. Each of the flasks was poured into 100 cc of solutions with concentrations of Cu^{2+} 25, 50, 100, 250, 500 mg / dm^3. The flasks were sealed and placed on shaking for 20 minutes. Experiments were performed without adjusting the pH.

To construct kinetic curves in 5 conical flasks, weighing bentonite weighing 1 g was added. Each of the flasks was poured into 100 cubic centimeters of solutions of copper (II) at a concentration of 100 mg / dm^3. The flasks were sealed and placed on shaking over different time intervals, min: 5, 10, 15, 20, 30. The experiments were performed without adjusting the pH.

Experimental

Figure 1 shows XRF-diffractogram of natural sample of the bentonite, used in investigations.

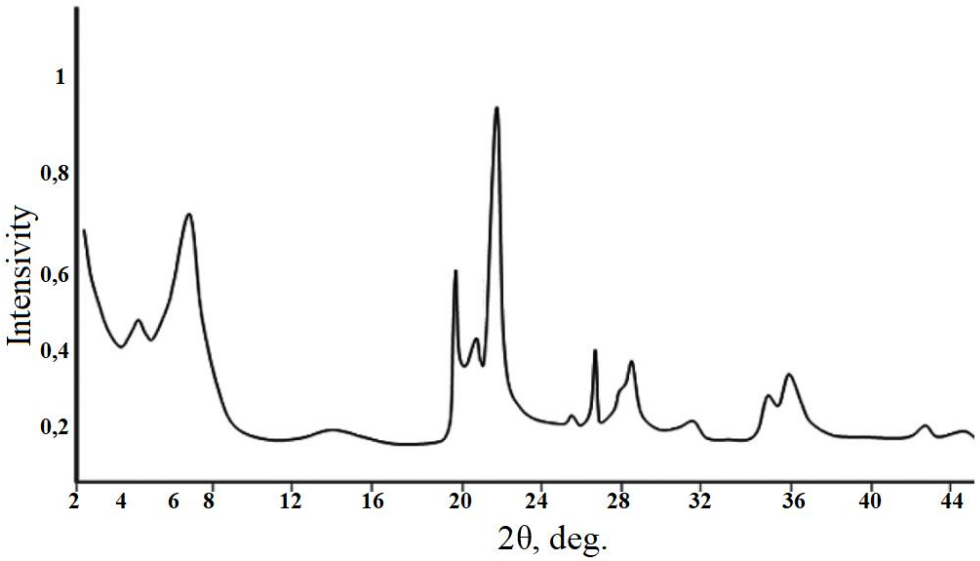

Fig. 2. XRF-diffractogram of natural sample of the bentonite

Data, presented in fig. 1, shows, that the sample of natural bentonite consists of following phases: montmorillonite (angle 2θ = 7 deg.) and also quartz, feldspar ad hematite (angles 2θ = 20, 22,5 and double peak 35, 37 deg. respectively). Thus, the natural sample of bentonite has heterogeneous structure. For simplification of describing its properties it is appropriate to make an assumption, that the sample of bentonite has a structure of montmorillonite.

The chemical composition of bentonite clay is presented in table 2.

Table 2.

The chemical composition of bentonite clay.

Mineral	**Quantitative analysis, mass %**						
	SiO_2	**Al_2O_3**	**TiO_2**	**Fe_2O_3**	**MgO**	**K_2O**	**Annealing losses**
Bentonite (montmorillonite)	63	14	0,34	3	2	0,5	19

According to the data in table 2, it can be seen, that the structure of bentonite includes metal oxides (mainly, 14 mass %) and the main part – SiO_2 (as quartz).

Fig. 2 shows the adsorption isotherm of Cu^{2+} on the bentonite surface.

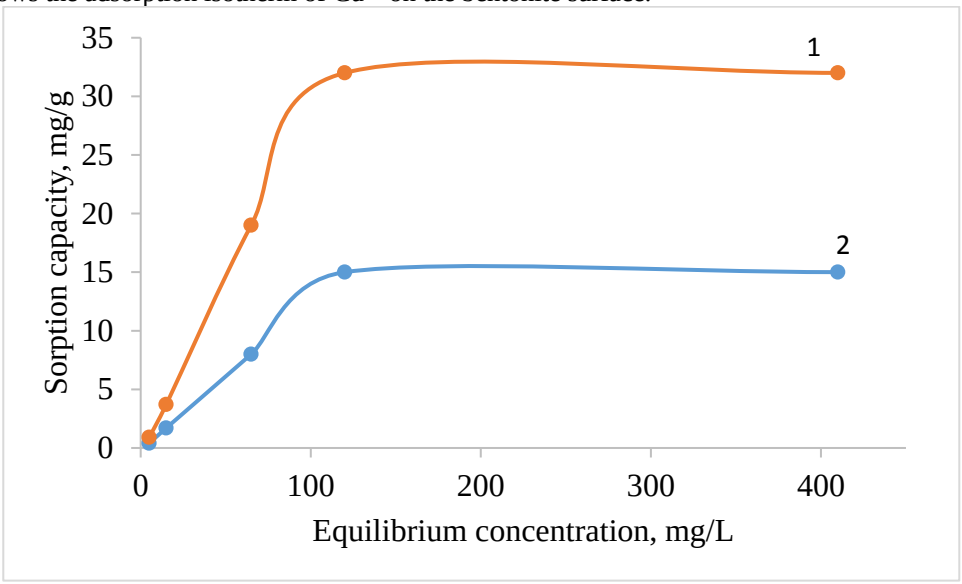

Fig. 2. Sorption isotherm of Cu (II) ions on the bentonite (1 – activated bentonite, 2 – native bentonite)

As can be seen from fig. 2, the sorption capacity of bentonite increases with an increase in the initial concentration of Cu (II) ions in solution and reaches a maximum value of 15 mg / g at an initial concentration of copper in a model solution of 200 mg / dm^3 (for native sample) and 32 mg / g at an initial concentration of copper in a model solution of 200 mg / dm^3 (for activated sample). With further growth of the initial concentration of copper, the sorption capacity does not change. Consequently, starting from the concentration of Cu^{2+} 200 mg / dm^3, the bentonite-based sorbent completely exhausted its sorption capacity (Zn^{2+} filled all available functional groups on the bentonite surface). The isothermal appearance of adsorption shows its flow through the Langmuir model.

Figure 3 shows the kinetic curve for the extraction of Cu^{2+} ions on the surface of bentonite (native and activated).

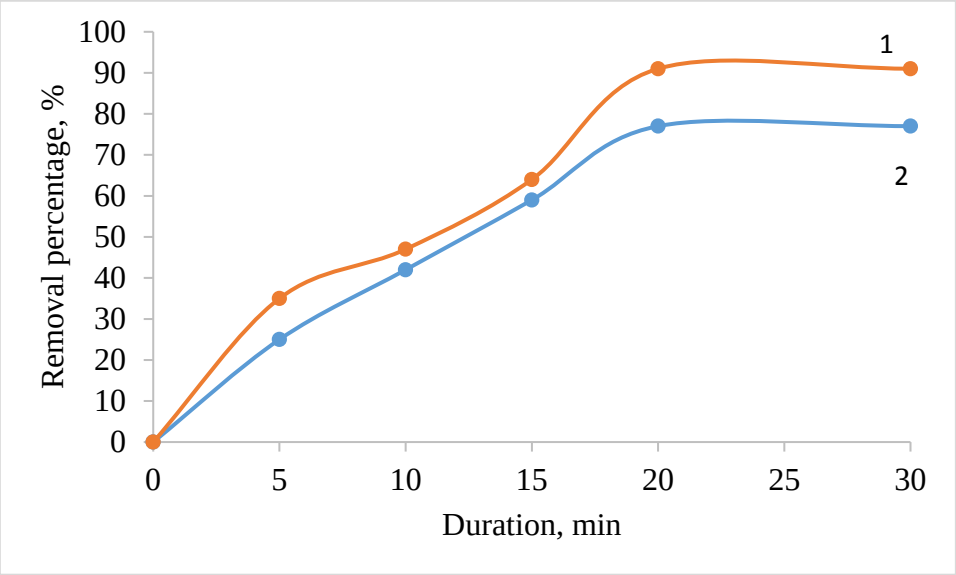

Fig. 3. Kinetic curve of Cu (II) ions removing by the bentonite (1 – activated bentonite, 2 – native bentonite)

According to the data, presented in figure 3, maximal removal percentage of copper (II) is reached at 20 minutes. In the case of non-activated bentonite, the removal percentage reaches 77 % (for activated one – 92 %). The dependence for non-activated bentonite differs from one for activated by presence the bend in the case of activated bentonite. On our opinion, it is connected with different models of sorption in the case of activated bentonite. Firstly, copper is sorbed by natural bentonite's active centers; then, active centers formed by acid activation.

Conclusions

The studies conducted in this paper allow us to make the following conclusions:

- bentonite clays (especially, activated) are effective sorbents of cations Cu (II) from model aqueous solutions;
- the maximum sorption capacity for copper (II) reaches 32 mg/g (activated bentonite).
- the maximum possible degree of copper extraction is 92 % and the dose of sorbent 1 g / 100 ml of solution at a concentration of 200 mg / dm^3, the duration of sorption for 20 minutes (activated bentonite);
- the evidence shows that activated bentonite is much better sorbent, than native one.

REFERENCES:

1. State Commission for Reserves. Guidelines on the application of the classification of reserves and forecast resources of solid minerals deposits. M.: Clay rocks, 2007.
2. Орлов Д. С., Садовникова Л. К., Лозановская И. Н. Экология и охрана биосферы при химическом загрязнении: учеб. пособие для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. М. : Высш. шк., 2002. 336 с. 2.
3. Смирнов А. Д. Сорбционная очистка воды. Л. : Химия, Ленингр. отд-ние, 1982. 169 с. 3.
4. Тарасевич Ю. И. Природные сорбенты в процессах очистки воды. Киев : Наук. думка, 1981. 207 с.
5. Тарасевич Ю. И. Адсорбция на глинистых минералах. Киев : Наук. думка, 1975. 329 с.

SYNTHESIS AND STUDY OF THE ION-EXCHANGE PROPERTIES OF H^+/Me^+ (Me = Li, Na, K) IN POLYANTIMONIC ACID

Yurovskikh J.,
Burmistrov V.
Chelyabinsk State University,
Chelyabinsk, Russia

СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ ИОНООБМЕННЫХ СВОЙСТВ H^+/Me^+ (Me = Li, Na, K) В ПОЛИСУРЬМЯНОЙ КИСЛОТЕ

Юровских Ю.Н.
Бурмистров В.А.
Челябинский государственный университет,
г. Челябинск, Россия
DOI: 10.24412/3453-9875-2021-54-1-31-36

Abstract

Ionites based on antimony (+5) polymers are able to sorb cations of alkaline, alkaline earth (strontium, barium) and heavy metals at pH<7. They have potential applications for the selective extraction of cadmium, mercury, cobalt, silver, and strontium cations from various solutions, even from wastewater. In this work were synthesized polyantimonic acid by the method of deposition and studied its ion-exchange properties with H^+, Me^+ (Me = Li, Na, K). Various well-known models of the pseudo-first, pseudo-second order, and the Boyd model are considered. It is found that the H^+/Li^+ exchange results in film diffusion, which proceeds at a low rate. External diffusion limiting in the exchange of H^+/Na^+ and H^+/K^+ contributes only to small degrees of completion of the process. In the Boyd model approximation, the diffusion coefficients were of the order of 10^{-13} m^2/s.

Аннотация

Иониты на основе полимеров сурьмы (+5) способны сорбировать катионы щелочных, щелочноземельных (стронций, барий) и тяжелых металлов при pH<7. Имеют перспективы применения для селективного извлечения из различных растворов катионов кадмия, ртути, кобальта, серебра, стронция даже из сточных вод. В данной работе была синтезирована полисурьмяная кислота методом осаждения и изучены её ионообменные свойства при H^+/Me^+ (Me = Li, Na, K). Рассмотрены различные известные модели псевдопервого, псевдовторого порядка и модель Бойда. Установлено, что при обмене H^+/Li^+ реализуется пленочная диффузия, которая протекает с небольшой скоростью. Внешнедиффузионное лимитирование при обмене H^+/Na^+ и H^+/K^+ вносит вклад только при малых степенях завершенности процесса. В приближении модели Бойда коэффициенты диффузии имели порядок $10^{-13}м^2/с$.

Keywords: Polyantimonic acid, ion exchangers, membrane kinetics, gel kinetics, kinetic equations of different orders, the model of Boyd.

Ключевые слова: Полисурьмяная кислота, иониты, плёночная кинетика, гелевая кинетика, кинетические уравнения различных порядков, модель Бойда.

Теоретическая часть

Полисурьмяная кислота (ПСК) состава $H_2Sb_2O_6 \cdot nH_2O$, $1 \leq n \leq 4$, кристаллизуется в структурном типе пирохлора (пр. гр. симм. Fd3m) и, благодаря своему строению, способна к обмену H^+/Me^+ [1, 2]. В ряде работ показано, что величина ионообменной ёмкости ПСК зависит от размера гексагональных пустот, которые формируются во время синтеза [3-6]. Установлено, что ионы H^+ в ПСК могут быть замещены на катионы однозарядных металлов, которые могут статистически располагаться в 8b или 16d позициях структуры типа пирохлора. Однако небольшое внимание уделено описанию процессов кинетики сорбции [4].

В связи с этим целью работы было изучению процессов обмена H^+/Me^+ (Me = Li, Na, K) в ПСК в приближении различных моделей.

Различают два общих диффузионных типа кинетики ионного обмена:

- внешнедиффузионная, (плёночная), которая лимитируется взаимодиффузией ионов в

плёнке раствора вблизи зерна ионита. В случае, когда обмен определяется плёночной диффузией, наблюдается линейнаязависимость функции

$$-\ln(1-F) = k\tau, \quad (1)$$

где F – степень завершенности процесса обмена, k – константа скорости реакции, τ – время ионного обмена.

- внутридиффузионная (гелевая) определяется взаимодиффузией ионов внутри зерна

ионита описывается моделью Бойда:

$$F = 1 - \frac{6}{\pi^2} \sum_{n=1}^{n=\infty} \frac{1}{n^2} \exp(-Btn^2) \quad , (2)$$

где степень завершённости процесса обмена F определяется как:

$$F = \frac{\alpha_\tau}{\alpha_\infty}, \quad (3)$$

α_τ и α_∞– количество сорбированного вещества на единицу массы сорбента в состоянии равновесия и в момент времени τ соответственно (мг-экв/г); Bt – безразмерный параметр, предложенный Бойдом (t=τ). Кинетический коэффициент B связан с коэффициентом взаимной диффузии следующим соотношением

$$B = \frac{D\pi^2}{r_0^2}, \quad (4)$$

где D – коэффициент взаимной диффузии ионов внутри зерна; t – время; R – средний радиус частиц ионообменника.При этом наблюдается линейная зависимость функции Bt = f(t). В литературе приводится таблица значений F как функции Bt.

Скорость процесса сорбции можно также оценить, если рассматривать ионный обмен как химическую реакцию определённого порядка.

Кинетические уравнения моделей псевдопервого и псевдовторого порядка в линейной форме имеют вид:

$$\ln(a_\infty - a_\tau) = \ln a_\infty - k_1\tau, \quad (5)$$

$$F/(1-F) = k_2\tau, \quad (6)$$

где k_1 и k_2 – константы скорости сорбции модели соответственно псевдопервого и псевдовторого порядка ($с^{-1}$), определить которые можно как тангенсы угла наклона зависимостей в координатах $\ln(a_\infty - a_\tau) - \tau$, $\tau/a\tau - \tau$ или $F/(1 - F) - \tau$, соответственно[7, 8].

Экспериментальная часть

Образец ПСК был получен путем гидролиза раствора пятихлористой сурьмы в избытке дистиллированной воды. Осадок отделяли от маточного раствора, промывали дистиллированной водой до отрицательной реакции фильтрата на ионы хлора и высушивали на воздухе. Данный метод синтеза не является стандартным. В большинстве исследований проводят гидролиз предварительно окисленного раствора треххлористой сурьмы [4, 6, 9].

Для проведения ионного обмена ПСК тщательно перетирали в фарфоровой ступке и просеивали через сита с ячейками 0,1 и 0,2 мм, получали фракцию с размером частиц 0,15 мм.

Навеску исходного образца массой 0,50 г помещали в 50 $см^3$дистиллированной воды, к которой одинаковыми порциями (0,5 мл) приперемешивании (v = 190 об/мин) приливали растворы щелочей заданной концентрации (0,515 моль/л NaOH, 0,515 моль/л KOH, 0,323 моль/л LiOH соответственно). Измерения pH суспензии осуществляли с помощью pH-метра Мультитест ИПЛ-103. С течением времени фиксировали изменение pH. Считали, что полное замещение H^+/Me^+ происходит при равновесных значениях pH.

После проведения ионного обмена образцы отмывали от избытка щелочи путем центрифугирования и прокаливали при 80˚С. Фазовый состав ПСК и Me-форм уточняли методом РФА (фильтр. CuKα-излучение). По данным рентгеновских исследований методом Ритвельда с использованием программы PowderCell 2.4 определили расположение ионов по правильной системе точек структуры типа пирохлора. Для определения параметра кристаллической решетки в программе PowderCell 2.4 ввели пр.гр. симм. Fd3m (№227 (1)), 16c позиции заполнили ионами Sb^{+5}, в 48f позиции поместили ионы O^{-2}, для Me-форм в 16d – ионы Me^+в количестве, соответствующем ёмкости. После этого провели несколько итераций, что позволило программе подобрать параметр кристаллической решетки.

Обсуждение результатов

На рентгенограмме синтезированной ПСК присутствует набор дифракционных максимумов, отвечающих структурному типу пирохлора (рис. 1). При ионном обмене H^+/Na^+ и H^+/K^+ наблюдается погашение нечетных рефлексов, а при ионном обмене H^+/Li^+ изменения рентгенограммы на качественном уровне не фиксируется, что уже отмечалось в нескольких исследованиях [4, 6, 9].

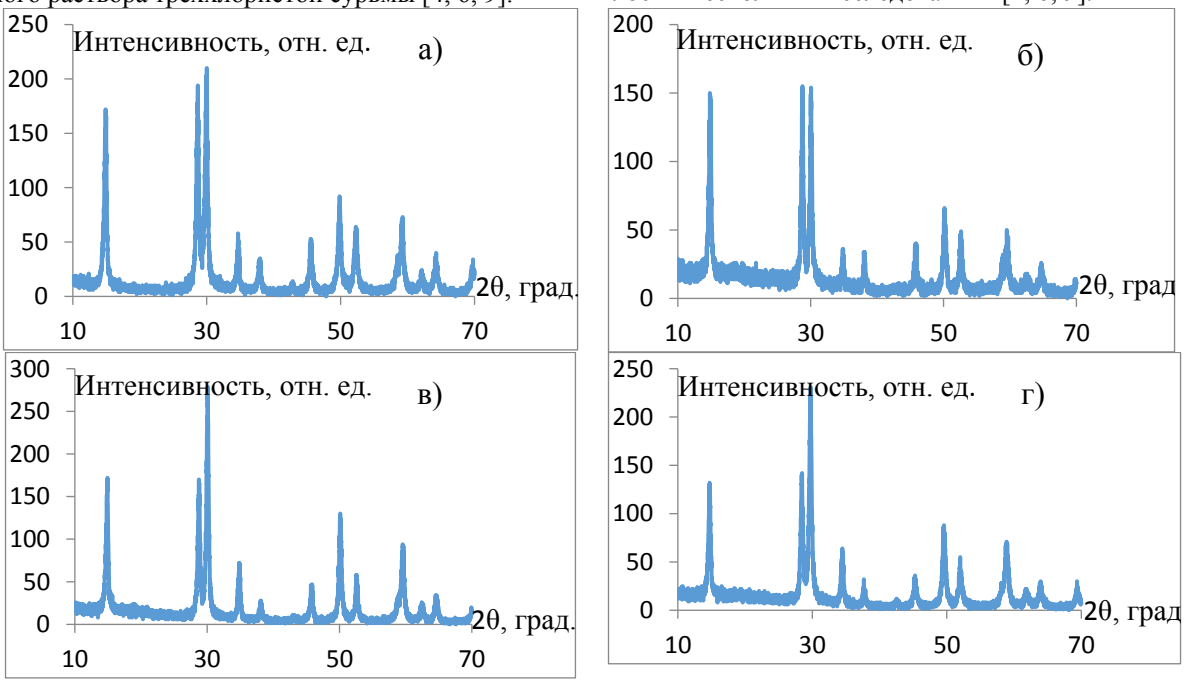

Рис. 1.Рентгенограммы: а) ПСК; б) Li-формы ПСК; в) Na-формы ПСК;г) K-формы ПСК.

Согласно данным РФА, при ионном обмене не происходит изменения симметрии кристаллической решетки, однако наблюдается изменение параметра (Табл. 1). Величина параметра кристаллической решетки для H^+, Me^+-форм ПСК зависит от ионного радиуса ионов Me^+ (Табл. 1) [7].

Таблица 1.

Значение ионообменной емкости, параметра кристаллической решетки H^+ и Me^+-форм ПСК, радиусов ионов Me^+

Состав фазы	$C_{тв.}$,мг-экв/г	a, Å	r(Me^+), Å
$H_2Sb_2O_6 \cdot nH_2O$	-	10,357(8)	-
$H_{1,5}Li_{0,5}Sb_2O_6 \cdot nH_2O$	1,2	10,276(4)	0,60
$H_{0,4}Na_{1,6}Sb_2O_6 \cdot nH_2O$	4,3	10,286(8)	0,95
$H_{0,6}K_{1,4}Sb_2O_6 \cdot nH_2O$	3,7	10,386(6)	1,33

По экспериментальных данным были построены изотермы ионного обмена, которые имели вид кривых сорбции микропористых образцов с относительно малой долей внешней поверхности. При этом наибольшей емкостью ПСК обладает в отношении ионов Na^+ (Табл. 1).

При исследовании процесса ионного обмена получены интегральные кинетические кривые в системе F – τ. Для обработки полученных экспериментальных данных использовали уравнения, учитывающие влияние внешней (пленочной), внутренней (гелевой) диффузии и стадии химической реакции (формулы 1, 2, 5, 6). Поскольку сорбция на ионообменных смолах является сложным и многостадийным процессом, выявляют обычно лимитирующую стадию, которая определяет общую скорость процесса [10-12].

На этапе обработки кинетических кривых применяют, как правило, известные модели псевдопервого, псевдовторого порядка и модель Бойда, позволяющие выявить вклад стадии химического взаимодействия в процесс сорбции [7, 8]. Кинетические кривые для данных моделей имеют вид (рис. 3-6).

На рис. 2. приведены интегральные кривые сорбции. Быстрее всего равновесие наступает при обмене H^+/K^+ – в течение 500 с, при обмене H^+/Na^+ необходимо более 1000 с, а при обмене H^+/Li^+ определить время установления равновесия по рис. 3 затруднительно. Вероятно, лимитирующей стадией H^+/Li^+ является пленочная диффузия, что подтверждает линейная зависимость $-\ln(1-F) = f(\tau)$ во всем интервале F (рис. 3). При обмене H^+/Na^+ и H^+/K^+ данная зависимость линейна при малых F (рис. 3)

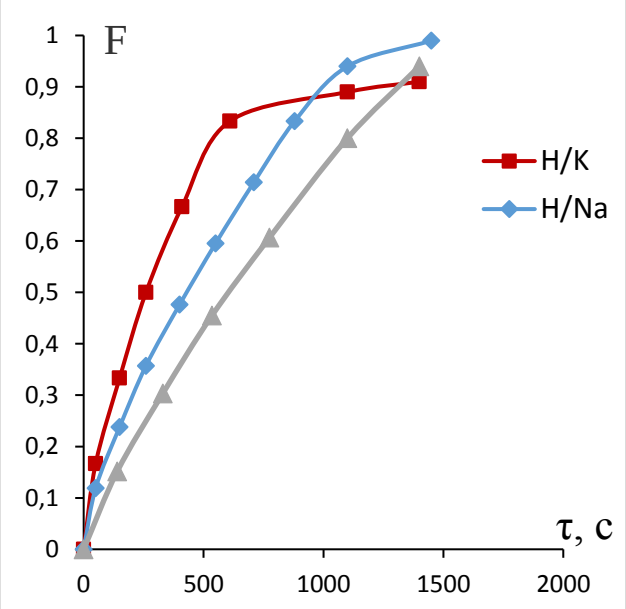

Рис. 2. Зависимостьстепени завершенности процесса Fот времени ионного обмена.

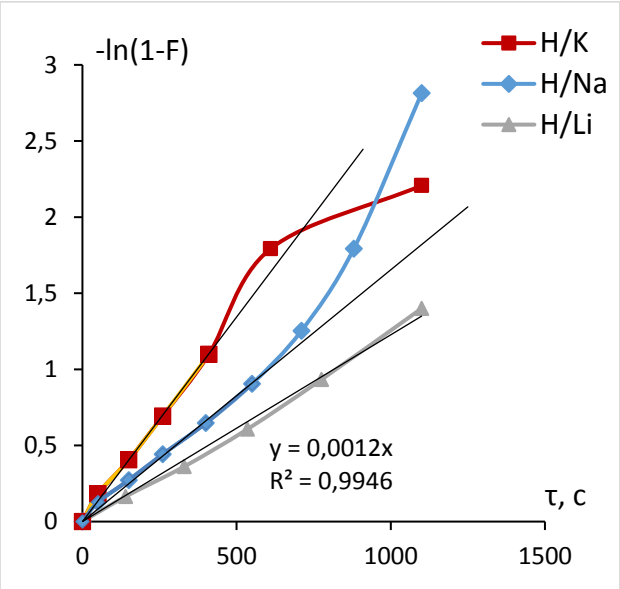

Рис. 3. Пленочная диффузия: зависимость –ln(1–F) = f(τ).

При больших F зависимость Bt=f(τ) линейна, поэтому кинетика ионного обмена H^+/K^+ и H^+/Na^+ описывается с помощью гелевого механизма. Коэффициенты диффузии, рассчитанные в приближении модели Бойда представлены в табл. 2. При ионном обмене происходит образование твердых растворов, ионный обмен происходит в гексагональных каналах структуры, о чем свидетельствует сохранение структуры типа пирохлора в Na- и K-формах ПСК. Фиксируется погашение четных рефлексов и изменение параметра кристаллической решетки (табл. 1).

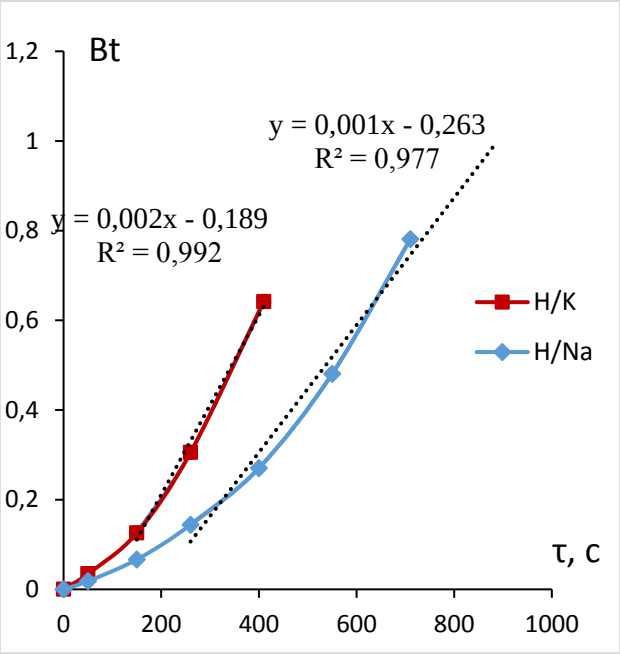

Рис. 4. Гелевая кинетика: зависимость Bt =f(τ).

На рис. 5 и 6 приведены зависимости в координатах кинетический моделей псевдопервого и псевдовторого порядков. Высокие значения коэффициентов детерминации (R^2>0,9) (Табл.2) показывают, что для описания химической стадии процесса сорбции, а также для возможности учета межмолекулярных взаимодействий при H^+/Me^+ в ПСК применимы как модель псевдопервого, так и псевдовторого порядка.

Согласно полученным данным, наибольшая скорость при обмене H^+/K^+, что подтверждают обе модели (табл. 2).

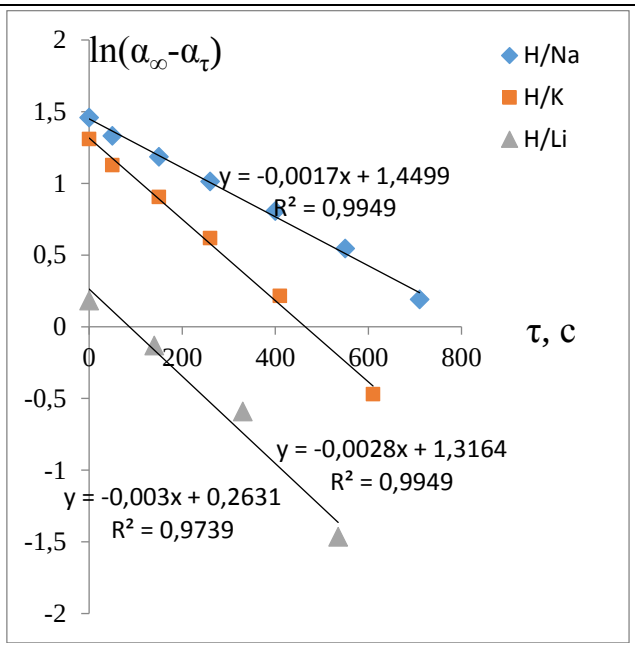

Рис. 5. Модель псевдопервого порядка ln ($a_\infty - a_\tau$) – τ

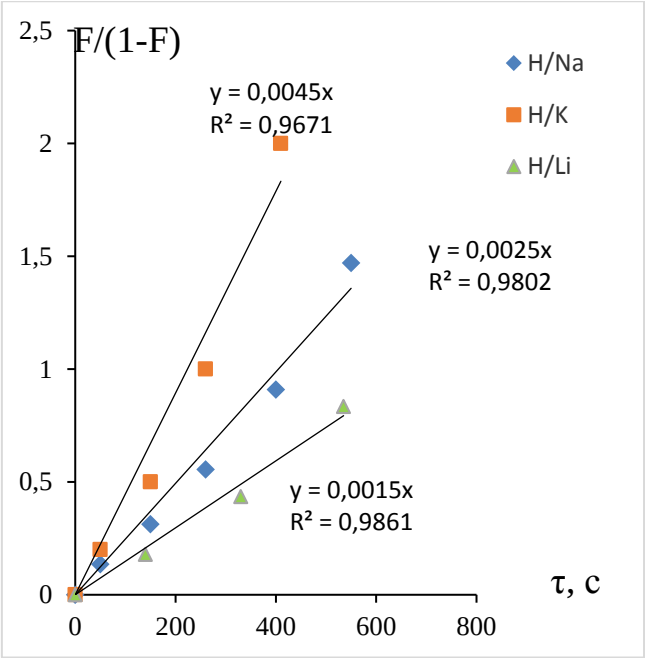

Рис. 6. Модель псевдовторого порядка F/(1–F) – τ

Таблица 2.

Равновесные удельные количества сорбата, константы скорости сорбции ионов металлов и коэффициенты детерминации кинетических моделей псевдопервого и псевдовторого порядков

Ион	a_∞, ммоль/г	Модель Бойда: $D \cdot 10^{13}$, м²/с	Псевдопервый порядок		Псевдовторой порядок	
			k_1, с$^{-1}$	R^2	k_2, с$^{-1}$	R^2
Na^+	4,3	3,96	0,0017	0,9949	0,0025	0,9802
K^+	3,7	7,92	0,0028	0,9949	0,0045	0,9671
Li^+	1,2	-	0,003	0,9739	0,0015	0,9861

Таким образом, в скорость сорбционного процесса вносят вклад как диффузионное лимитирование (внутри- и внешнедиффузионное), так и скорость химической стадии обмена (реакция). При сорбции ионов исследуемых Me^+ в ПСК необходимо учитывать полимолекулярные взаимодействия в системе сорбат-раствор-сорбент, что показано применимостью моделей псевдопервого и псевдовторого порядка к данной системе.

При обмене H^+/Li^+ реализуется пленочная диффузия, которая протекает с небольшой скоростью. Наибольшей ёмкостью ПСК обладает в отношении ионов Na^+, однако с большей скоростью протекает обмен H^+/K^+. Различие в радиусах ионов Na^+ и K^+

делает возможным предположение о размещении ионов K^+ в иных позициях структуры по сравнению с ионами Na^+: что подтверждается увеличением параметра кристаллической решетки.

Для выявления лимитирующей стадии необходимо определение энергии активации, поэтому дальнейшее исследование будет посвящено изучению сорбции ионов Me^+ ПСК при различных температурах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Аширов, А. Ионообменная очистка сточных вод, растворов и газов [Текст] / А.А. Аширов. – Л.: Химия, 1983. – 295 с.

2. Поп, М.С. Гетерополи- и изополиоксометаллы [Текст] / М. С. Поп. – Новосибирск: Наука, 1990. – 220 с.

3. Плетнев, Р. Н. Гидратированные оксиды элементов IV и V групп [Текст] / Р. Н. Плетнев, А. А. Ивакин. – М.: Наука, 1986. – 156 с.

4. Бурмистров, В. А. Структура, ионный обмен и протонная проводимость полисурьмяной кристаллической кислоты [Текст] / В.А. Бурмистров. – Челябинск: Челябинский государственный университет, 2010. – 248 с.

5. Никольский, М.С. Кристаллохимия соединений редкоземельных элементов со структурой пирохлора: Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук: 25.00.05 / М.С. Никольский. – Москва, 2018. – 24 с.

6. Меженина, О.А. Структура и ионообменные свойства полисурьмяной кристаллической кислоты [Текст] / О. А. Меженина, В. А. Бурмистров, В. П. Балыкин // Вестник Южно-Уральского государственного университета. – 2012. – №8. – С. 43 – 48.

7. Тимофеев, К.Л. Кинетика сорбции ионов индия, железа и цинка на модифицированном монтмориллоните [Текст] / К.Л. Тимофеев, Г.И. Мальцев, А.В. Свиридов // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 2.Химия. – 2017. – Т. 58, № 3. – С. 135-143.

8. Крижановская О.О. [и др.] Кинетические модели при описании сорбции жирорастворимых физиологически активных веществ высокоупорядоченными неорганическими кремнийсодержащими материалами // Сорбционные и хроматографические процессы. – 2014. – Т. 14. – С. 784-794.

9. Белинская, Ф.А. Неорганические ионообменные материалы на основе труднорастворимых соединений сурьмы [Текст]/ Ф.А. Белинская, Э.А. Милицина // Успехи химии. – 1980. – Т. 49. № 10. – С. 1905-1936.

10. Кокотов, Ю. А. Равновесие и кинетика ионного обмена [Текст] / Ю. А. Кокотов, В. А. Пасечник. – Л.: Химия, 1970. – 336 с.

11. Котов, В. Ю. Термодинамика ионного обмена протон-натрий на кислом фосфате циркония [Текст] / В. Ю. Котов, И. А. Стенина, А. В. Зубарев, А. Б. Ярославцев // Журн. неорган. химии. - 1998. – Т. 43, № 6. – С. 919 – 922.

12. Ярославцев, А. Б Ионный перенос в мембранных и ионообменных материалах [Текст] / А. Б. Ярославцев, В. В. Никоненко, В. И. Заболоцкий // Успехи химии. – 2003. – Т. 72. – С. 393 – 421.

PHYSICAL SCIENCES

MOTION OF CHARGED PARTICLES IN THE FIELD OF WAVE PACKETS IN CROSSED ELECTRIC AND MAGNETIC FIELDS, CONSIDERING WEAKLY RELATIVISTIC EFFECTS

Karnilovich S.,
Shaar Y.,
Hassan N.
Associate professors
Institute of Physical Research and Technology
Russian University of Peoples' Friendship – Moscow
DOI: 10.24412/3453-9875-2021-54-1-37-38

Abstract
In this work we considered was constructed the theory of motion of charged particles in the field of wave packets in crossed electric and magnetic fields, taking into account weak relativistic effects.

Keywords: Motion of charged particles, Acceleration of charged particles, wave packets.

Drift theory of motion of charged particles in electromagnetic fields, determine two cases: a "weak" electric field when the electric drift velocity is $V_E \sim \varepsilon V$, and a "strong" electric field when $V_E \sim V$, Here V is the characteristic particle velocity, ε is a small parameter equal to the ratio of the particle gyroradius to the characteristic scale of the inhomogeneity of a strong magnetic field, even in the nonrelativistic approximation, the case of a strong electrostatic field is complicated and full of difficulties [2]. In [2–4], taking into account weakly relativistic effects, was constructed the theory of motion of charged particles in the field of wave packets in crossed electric and magnetic fields.

If the speed of electric drift is not constant, but is a function of the coordinates and time, then the transition to the corresponding system moving with the speed of electric drift leads to certain difficulties, since such a system is non-inertial.

This paper proposes an approach to solve this problem. It is assumed that the electric drift velocity is very less than the speed of light in vacuum. Such a proposal is quite sufficient to solve many applied problems. The equations of motion averaged over fast oscillations of the relativistic charged particle are obtained taking into account the effects of quasistationary electric drift.

$$\begin{cases} \vec{E}(\vec{r},t) = \vec{E}_0(\vec{r},t) + \vec{E}_{HF}(\vec{r},t) \\ \vec{B}(\vec{r},t) = \vec{B}_0(\vec{r},t) + \vec{B}_{HF}(\vec{r},t) \end{cases} \quad (1)$$

Where

$$\begin{cases} \vec{E}_{HF}(\vec{r},t) = \xi e^{iQ} + \text{к. с.} \\ \vec{B}_{HF}(\vec{r},t) = \beta e^{iQ} + \text{к. с.} \end{cases} \quad (2)$$

Introducing

$$\vec{e}_1(\vec{r},t), \vec{e}_2(\vec{r},t), \vec{e}_3(\vec{r},t) \quad (3)$$

$$\vec{e}_1 = \frac{\vec{B}_0}{|\vec{B}_0|}, \vec{e}_1^2 = 1$$

$$\vec{e}_1\vec{e}_1 + \vec{e}_2\vec{e}_2 + \vec{e}_3\vec{e}_3 = \hat{I}$$

The fast phase is described by the equation will be

$$\frac{dQ}{dt} = -\omega + \vec{k}.\frac{d\vec{r}}{dt}\ \omega(\vec{r},t) = \frac{dQ}{dt}\ \vec{k} = -\nabla Q \quad (4)$$

Where ω is the local frequency $\vec{k}$ - is the local wave vector, Q is the fast phase.

Let us single out the cyclotron rotation of the particle and the electric drift $\vec{V}_E$ using the formula:

$$P = P_E + e_1 P_\parallel + \frac{P_\perp}{2}(\vec{e}_2.-e^{i\omega_0} + \vec{e}_3.+e^{-i\omega_0}) \quad (5)$$

Where Q_0 – is the gyrophase, $\vec{P}_E = m_0\Gamma\vec{V}_E$ m_0- is the mass of the particle,

$\vec{V}_E = \frac{c}{|\vec{B}_0|}\left[\vec{E}_0, \vec{e}_1\right]$, $\Gamma = (1 + \frac{P^2}{m^2c^2})^{1/2}$ - the relativistic factor.

$$\vec{e}_\pm = \vec{e}_2 \pm i\vec{e}_3$$

The equation of motion of a relativistic charged particle q:

$$\frac{d\vec{P}}{dt} = q\vec{E}(\vec{r},t) + \frac{q}{m_0c\Gamma}\left[\vec{P},\vec{B}\right] \quad (6)$$

Substituting expressions (1) and (5) into equation (6) and projecting onto the directions $\vec{e}_1$, $\frac{1}{2}\left(\vec{e}_-e^{i\theta_0} + e_+e^{-i\theta_0}\right)$ и $\frac{i}{2}\left(\vec{e}_-e^{i\theta_0} - e_+e^{-i\theta_0}\right)$, we obtain the exact equations in the form

$$\frac{dx}{dt} = f(t,x,Q,\varepsilon) \quad (7)$$

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{1}{\varepsilon}\omega(t,x) + A(t,x,Q,\varepsilon) \quad (8)$$

Where ε – is the small parameter, $\vec{x} = (\vec{r}, \vec{P}_\parallel, \vec{P}_\perp)$ - is the vector of slow variables, $Q = (Q_0, Q)$ – is the vector of fast variables containing the gyro phase and phase of the waves (2),

$\omega = \frac{\Omega_0}{\Gamma} = \frac{qB_0}{m_0c\Gamma}$ – relativistic cyclotron frequency, $\nu = -\omega + \kappa_z\frac{P_\parallel}{m_0\gamma}$ – Doppler shift frequency, $\gamma = \left(1 + \frac{P_\parallel^2 + P_\perp^2}{m_0c}\right)^{1/2}$

The equations obtained are valid only for quasi-longitudinal wave propagation, when the particle gyroradius is small compared to the transverse wavelength [6]

$$\kappa_\perp\Gamma \sim \varepsilon \quad (9)$$

Then making transition to a new phase (since the gyroradiusrelat of the particle is not small, кΓ∼1), by the formula:

$$\psi = Q - \frac{P_\perp}{m_0\Omega_0}\vec{e}(\vec{e}_2 Sin\psi_0 - \vec{e}_3 Cos\psi_0) \quad (10)$$

Averaging the resulting system of equations over all fast phases, except for the phase of demultiplication resonance, where is the resonant phase: $\psi_{res} = 2\psi_0 +$

Q and $2\omega_0 + \nu \cong 0$, we obtain a system of equations for waves of arbitrary polarization in a dimensionless form:

$$\frac{P_\parallel}{d\tau} = \frac{B_0}{2} P_\perp^2 \gamma^2 Cos\phi \quad (11)$$

$$\frac{P_\perp}{d\tau} = \beta_1 \left(1 + \frac{U_\parallel}{U_\phi}\right) Sin\phi \quad (12)$$

$$\frac{d\phi}{d\tau} = -1 - \frac{2\Omega_0}{\gamma\omega} + \frac{P_\parallel}{P_\phi} + \frac{P_\perp^2}{2\gamma^2} \cdot \frac{\dot{\gamma} \cdot \dot{V_E}}{\omega} + \frac{2\beta_1}{\gamma}\left(\frac{1}{2} - \frac{U_\parallel}{U_\phi}\right) Cos\phi \quad (13)$$

$$\frac{d\gamma}{d\tau} = \frac{\beta_0 P_\perp}{\gamma} \cdot Cos\phi \left(\frac{P_\perp P_\parallel}{2\gamma^2} + \left(V_\phi + V_\parallel\right) tg\phi\right) \quad (14)$$

Где $\frac{V_E q \varepsilon_\perp}{m_0 c \omega V_\phi} = \beta_0 = \beta_1 \frac{c}{U_\phi}$ $V_\phi = \frac{U_\phi}{c}$

$P_\parallel, P_\perp$ $\frac{P_\parallel, P_\perp}{m_0 c}$ $\varepsilon_\perp = \varepsilon_x Cos\Phi = \varepsilon_y Sin\Phi$

$$\Phi = \psi_{res} - \phi\, V_\parallel = \frac{P_\parallel}{m_0 \gamma c}\ \tau = \omega t\ \alpha = \frac{\Omega_0}{\omega}$$

This resonance is a consequence of relativism and is possible only in the presence of a strong electrostatic field.

REFERENCES:

1. V.P. Milantiev TECHNICAL PHYSICS LETTERS - 1994 64 p. 166

2. S.P. Karnilovich, V.P. Milantiev Journal of Experimental and Theoretical Physics - 1989; P. 95

THE PHYSICS OF IMAGINARY NUMBERS IS THE NEW PHYSICS, IT IS PHYSICS OF AN INVISIBLE, BUT REALLY EXISTING WORLD

Antonov A.
Ph.D, HonDSc, HonDL, H.ProfSci, ResProf,
Independent Researcher, Kiev, Ukraine
DOI: 10.24412/3453-9875-2021-54-1-38-46

Abstract

It is quite clear that the discovery of invisible universes is an outstanding and far more significant event than even the discovery of America by Columbus. However, their discovery is hampered not only by the objective difficulties of knowledge nature, but also by the principle of non-exceeding the speed of light of the special theory of relativity (STR), from which the existence of only our visible universe follows. But in the XXI century, experimental knowledge was obtained, from which it followed that the relativistic formulas of the existing version of STR are incorrect and incorrectly explained. In other words, the version of STR created in the 20th century turned out to be not entirely correct. Therefore, an alternative version of S STR RT was created, which made it possible to prove the existence, in addition to our visible universe, of other mutually invisible universes. It is explained how these invisible universes can be seen. But invisible universes are not the only invisible objects that actually exist in nature, which are described by imaginary numbers. Other real-life invisible physical objects correspond to other imaginary numbers. Therefore, the physics of imaginary numbers is the physics of the still largely unknown invisible world. STR

Keywords: imaginary numbers; special theory of relativity; dark matter; dark energy; dark space; Multiverse; Hyperverse, invisible universes.

1. Introduction

What could be the physical sense of imaginary numbers? It has remained completely incomprehensible until very recently, unlike the sense of other numbers, such as integer and fractional, positive and negative, rational and irrational, etc, which became clear immediately after their discovery. Even today no one can explain what is, for example, $5i$ kilograms, $7i$ seconds or $2i$ meters, where $i = \sqrt{-1}$ is the imaginary unit, although imaginary numbers were discovered by Scipione del Ferro, Niccolò Fontana Tartaglia, Gerolamo Cardano, Lodovico Ferrari and Rafael Bombelli [1] about five hundred years ago. And perhaps even earlier this scientific discovery was made by Paolo Valmes [2], who was sentenced to death at the stake by Spanish inquisitor Tomás de Torquemada for this discovery. Therefore, even Sir Isaac Newton had to regard the opinion of the Inquisition about imaginary numbers and preferred not to use[1] them in his writings.

Moreover, physical sense of imaginary numbers has remained so incomprehensible until very recently as to prevent creation of the special theory of relativity (STR) in the 20th century, although it is generally believed to have been already created. And it is even presented in all university and school physics textbooks. But this generally acknowledged version of STR is not entirely correct[2], since the relativistic formulas obtained in it are incorrect, they are incorrectly explained using the incorrect principle of light speed non-exceedance, and also from them incorrect conclusions are made about the physical unreality of imaginary numbers and the existence in nature only of our visible Universe.

Imaginary numbers are actually shown below to be physically real. And while the physics of real numbers corresponds to the world we see, the physics of imaginary numbers corresponds to the invisible (moreover, also not otherwise tangible) and therefore largely unexplored world.

[1] In the atmosphere of Inquisition's omnipotence and intolerance of unorthodoxy prevailed at that time, Newton's friend William Whiston was deprived of his professorship and expelled from Cambridge University in 1710 for some of his imprudent remarks

[2] Unfinished work, much less work done incorrectly is work the result of which cannot be used. After all, no one will go to work in a suit to which buttons are not sewn and does not drink coffee, in which salt was put instead of sugar.

2. The existing version of the STR is incorrect

What another conclusion could be drawn about the situation existing in physics, if the main result of the STR, its relativistic formulas, is incorrect?

Indeed, these relativistic formulas, for example:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1-(v/c)^2}} \quad (1)$$

where m_0 is the rest mass of a physical body;

m is the relativistic mass of a moving physical body;

v is the velocity of a moving physical body;

c is the speed of light;

it follows that the relativistic mass m and other relativistic physical quantities are measured with real numbers when $0 \le v < c$, and with imaginary numbers when $c \le v < \infty$. But how such a result shall be understood?

The authors of the STR did not know the answer to this question. Therefore, in order to avoid the necessity to admit this, the principle of light speed non-exceedance implying the physical unreality of imaginary numbers was groundlessly introduced into the STR. In other words, this principle was postulated. And thus, it would seem that the case for might not be considered.

However, this postulate turned out to have a hard luck, since it was refuted by Nobel Prize received by Pavel Alekseyevich Cherenkov, Igor Evgenyevich Tamm and Ilya Mikhailovich Frank 1958 for discovering and explaining Cherenkov radiation [3], emitted when charged particles move through a transparent medium at a speed greater than the speed of light in that medium. Later the situation was saved by making a clarification that the principle of light speed non-exceedance had implied the speed of light exclusively in a vacuum.

Therefore the principle of light speed non-exceedance carried little credibility after this. Attempts to detect superluminal neutrinos and thereby refute the principle of light speed non-exceedance were made in the 21st century. The OPERA experiment at the Large Hadron Collider was the latest. On September 23, 2011, the OPERA collaboration published [4] a sensational report about the allegedly successful completion of the experiment. However, on March 15, 2012, the ICARUS collaboration published [5] a no less sensational report refuting the OPERA experiment. That has even created illusion of irrefutability of the principle of light speed non-exceedance and, consequently, the existing version of the STR.

Creation of such illusion was presumably the true goal of the expensive OPERA and ICARUS experiments, which couldn't be repeated and verified due to their uniqueness, although they were intensively advertised even before their completion. At the same time, in 2008-2010, there were publications [6] - [11] about alternative proofs[3] of the principle of physical reality of imaginary numbers, which could be repeated and verified in any radio engineering laboratory and therefore made the OPERA and ICARUS experiments unnecessary. But they were ignored by the OPERA and ICARUS collaborations, even despite the fact that evidence of the principle of physical reality of imaginary numbers was published in [12] - [24] in subsequent years. This experimentally proven principle of physical reality of imaginary numbers refuted the postulated principle of light speed non-exceedance in the most indisputable way.

3. Proofs of the principle of physical reality of imaginary numbers

From the above, it thus follows that the answer to the question of whether imaginary numbers are physically real or not in the STO is extremely important. And on this answer depends on the recognition of the existing version of the workshop as correct or incorrect.

In order not to overload this article repeating the proofs of physical reality of imaginary numbers set forth in the publications mentioned above, we only note that they state the following:

- Analysis of oscillatory transient processes made it clear that if the principle of light speed non-exceedance implying the STR statement about physical unreality of imaginary numbers were true, then there would be no tsunami, church bells and musical instruments would not sound and even children's swing wouldn't sway after being pushed by parents;
- Analysis of oscillatory resonant processes made it clear that if the principle of light speed non-exceedance implying the STR statement about physical unreality of imaginary numbers were true, then we would not know such exact sciences as radio engineering and electrical engineering, television and radiolocation, telecommunication, radio navigation and many others;
- Analysis of forced oscillatory processes made it clear that if the principle of light speed non-exceedance implying the STR statement about physical unreality of imaginary numbers were true, then even Ohm's law would not exist for electric circuits.

Thus, the above proofs of physical reality of imaginary numbers are incontestable. Consequently, the principle of physical reality of imaginary numbers is true, and the principle of light speed non-exceedance is false. And Ohm's law for electric circuits in the interpretation of Steinmetz proposed in 1897 even made it possible to refute the existing version of the STR even before its creation.

But in the 21st century this is still not understood in the existing physics of real numbers, since it still assumes that the principle of light speed non-exceedance is true. Norbert Wiener wrote in this regard: *"Important work is sometimes delayed by the unavailability in one field of results that may have already become classical in the next field"*. How, it turns out, dogmatic is the modern higher physical higher education, that people with such an education were unable to understand all this. Unable to understand that their dogmas are disproved by nature and people literally every step of the way, as soon as they turn on the TV or start talking on a mobile phone, as soon as they hear music or bell ringing, as soon as they see a child on a swing, or use a GPS tracker in their car. And there is unwittingly doubt, but

[3] They unequivocally proved physical reality of imaginary numbers. However, mathematics is the language of all exact sciences. So, the principle of physical reality of imaginary numbers proved as a result of these alternative radio engineering experiments is also valid in the STR. It implies that the principle of light speed non-exceedance is incorrect

can people with such an education think so creatively as to understand the structure of distant universes and the processes taking place in them if they do not understand what is happening next to them?

4. The existing version of the STR is incorrect (continued)

And now we answer the question why the relativistic formulas (1) and others are incorrect and incorrectly explained. And, therefore, why the STR is incorrect?

The answer is obvious: because the principle of light speed non-exceedance is refuted by the principle of physical reality of imaginary numbers; because, in accordance with the principle of physical reality of imaginary numbers, the formula (1) and other relativistic formulas must be explainable both at $0 \le v < c$ and at $c \le v < \infty$. But in the existing version of STR at $c \le v < \infty$ it is actually not explainable (see Fig. 1a), since it corresponds to a physically unstable process, that cannot exist in nature. Indeed, the formula (1) implies that the mass of a physical body, for example, a rocket, decreases in the range $c \le v < \infty$ with the slightest increase in its velocity, as a result of which its velocity increases with the same engine thrust. And this leads to a further increase in velocity $\boldsymbol{v}$, and so on. Besides, the existing version of the STR cannot explain at all what the sense of imaginary physical quantities is in the physics of real numbers.

5. Alternative version of the STR

Therefore, for the corrected relativistic formulas to be explainable, the graphs of the function $m(v)$ should be similar at argument values v that are both lesser and greater than $\boldsymbol{c}$, i.e. should be as shown in Fig. 1b. And such graphs in the alternative version of SRT [24] correspond to the corrected formula (1)

$$m = \frac{m_0 i^q}{\sqrt{1-(v/c - q)^2}} = \frac{m_0 i^q}{\sqrt{1-(w/c)^2}} \quad (2)$$

where $q = \lfloor v/c \rfloor$ is the 'floor' function of argument v/c in discrete mathematics;

$w = v - qc$ is the local velocity for each universe, which can take values only in the range $0 \le w < c$;

$\boldsymbol{v}$ is the velocity measured from our universe;

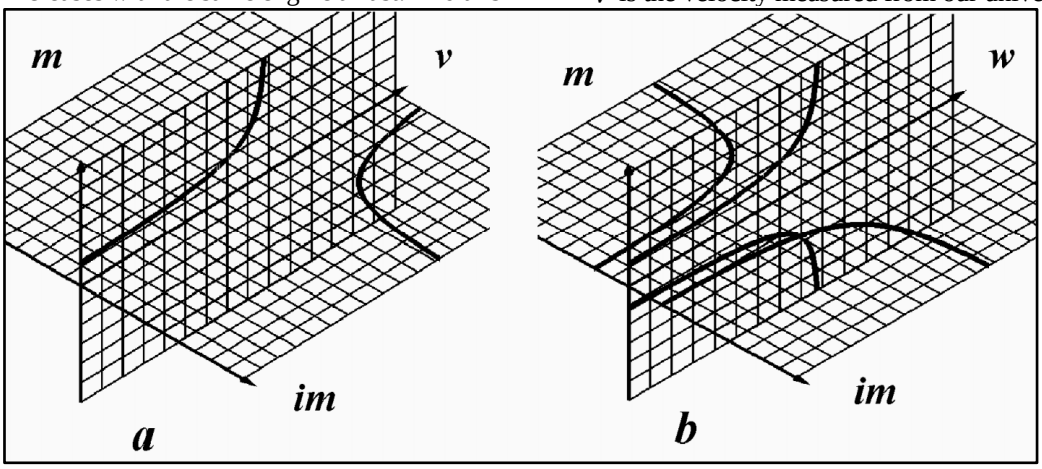

Fig. 1. *Graphs of functions (1) corresponding to the existing version of the STR, and (2) corresponding to its alternative version*

$\boldsymbol{c}$ is the speed of light.

Albert Einstein did not exclude such correction of the STR in future. He wrote: "*There is no single idea, which I would be sure that it will stand the test of time".*

6. Our invisible Multiverse

The new parameter $\boldsymbol{q}$ in the formula (2) corresponds to the fourth spatial dimension. And the quantity of this parameter, equal to $q = 0$, corresponds to our visible universe of real physical quantities (since $i^0 = 1$), for which $0 \le v < c$ follows from $w = v - qc$ and $0 \le w < c$. The quantity $q = 1$ in the formula (2) corresponds to an adjacent universe of imaginary physical quantities (since $\boldsymbol{i^1 = i}$), for which $\boldsymbol{c \le v < 2c}$, and which therefore is already invisible to us, because it is beyond the horizon of events. Therefore, we shall call it, for definiteness, a tachyon universe by the name of hyper-light subatomic particles. For the same reasons, we shall call our visible universe tardyon. Further:

- the quantity $q = 2$ corresponds to a tardyon antiverse of real physical quantities (since $i^2 = -1$), which is also invisible for us, as it is beyond the horizon of events due to the condition $2c \le v < 3c$;
- the quantity $q = 3$ corresponds to a tachyon antiverse of imaginary physical quantities (since $i^3 = -i$), which is also invisible for us, as it is beyond the horizon of events due to the condition $3c \le v < 4c$;
- the quantity $q = 4$ corresponds to another[6] tardyon universe of real physical quantities (since $i^4 = 1$), which is also invisible for us, as it is beyond the horizon of events due to the condition $4c \le v < 5c$;
- the quantity $q = 5$ corresponds to another tachyon universe of imaginary physical quantities (since $\boldsymbol{i^5 = i}$), which is also invisible for us, as it is

beyond the horizon of events due to the condition $5c \le v < 6c$, etc.

Thus, our Multiverse consists of many mutually invisible universes. Therefore, we shall call it a hidden, i.e. invisible Multiverse.

7. Alternative version of the STR (continued)

The structure of such a hidden Multiverse can be refined in mathematical analysis of data obtained by the WMAP [25] and Planck [26] spacecraft. The following data were obtained by the WMAP spacecraft: mass/energy of the entire universe (actually the entire hidden Multiverse) consists of 4.6% of ordinary baryonic matter, 22.4% of dark matter and 73.0% of dark energy. And according to more recent data from the Planck spacecraft, mass/energy of the universe (again, actually the hidden Multiverse) consists of 4.9% of ordinary baryonic matter, 26.8% of dark matter, and 68.3% of dark energy. That is, the total mass/energy of dark matter and dark energy is more than twenty times greater than the mass/energy of baryonic matter.

However, what dark matter discovered by Jan Hendrik Oort [27] and Fritz Zwicky [28] in 1932-33 and dark energy discovered by Saul Perlmutter [29], Brian Schmidt [30] and Adam Riess [31] (who were awarded the Nobel Prize for their discoveries) in 1998-1999 are still remains to be found out [32] - [35]. This is the reason why the phenomenon of dark matter and dark energy is called dark. And its explanation is now sought in the microcosm, since according to the existing version of the STR there is no other place to seek in. However, it is still not found.

Albert Einstein explained the reasons for incomprehensibility of this phenomenon very clearly: *"Insanity: doing the same thing over and over again and expecting different results"*. Sir Isaac Newton was of the same opinion: *"No great discovery was ever made without a bold guess"*.

Therefore, taking into account the above explanation of relativistic formulas of the alternative version of the STR, according to which there is a hidden Multiverse, rather than a Monoverse as stated in the existing version of the STR, we shall look for explanation of the phenomenon of dark matter and dark energy in the macrocosm, i.e. in the hidden Multiverse, rather than in the microcosm. And then we can assume that:

- dark matter is neither micro nor macro material substance. It is merely an image (gravitational rather than optical or still less electromagnetic), probably, a sort of a shadow, casted by invisible universes of the hidden Multiverse adjacent to our visible universe;
- dark energy is also neither micro nor macro material substance. It is merely an image (gravitational rather than optical or still less electromagnetic), probably, a sort of a shadow, casted by other invisible universes of the hidden Multiverse more distant from our visible universe;

It can also be assumed that over billions of years of existence mass/energy of universes of the hidden Multiverse has significantly averaged as a result of mutual exchange of their physical content through numerous portals [36] - [39]. Therefore, the structure of the hidden Multiverse can be specified using the above experimental data obtained by the WMAP and Planck spacecraft. Thus, assuming the mass/energy of parallel universes forming the hidden Multiverse to be approximately the same, we get the following:

- the entire Multiverse consists of ***100 %/4,6 % =21,8*** mutually invisible parallel universes according to the WMAP data, and ***100 %/4,9 % =20,4*** mutually invisible parallel universes according to the Planck data, i.e. approximately ***20…22*** universes;
- dark matter is generated by ***22,4 %/4,6 % =4,9*** mutually invisible parallel universes according to the WMAP data, and ***26,8 %/4,9 % =5,5*** mutually invisible parallel universes according to the Planck data, i.e. approximately ***5…6*** universes;
- dark energy is generated by ***73,0 %/4,6 % =15,9*** mutually invisible parallel universes according to the WMAP data, and ***68,3 %/4,9 % =13,9*** mutually invisible parallel universes according to the Planck data, i.e. approximately ***14…16*** universes.

And such results in the 20th century were impossible to guess by any postulates.

However, as can be seen, the results obtained do not correspond to the relativistic formula (2) and, for the same reason, to the other relativistic formulas. Thus, according to the formula (2), our tardyon universe (as well as other tardyon universes and antiverses) has actually two adjacent universes: one tachyon universe and one tachyon antiverse. But according to the calculations given above, our tardyon universe has actually 5…6 adjacent universes: three tachyon universes and three tachyon antiverses. Hence, it follows that in fact there is three extra dimensions, rather than one.

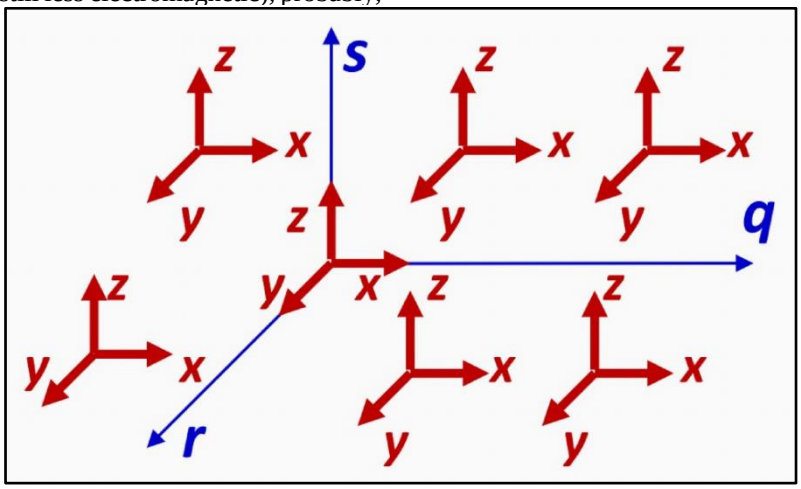

Fig. 2. *Six-dimensional space of the hidden Multiverse*

Consequently, the structure of our hidden Multiverse is described not by complex numbers, as we assumed, but by quaternions [40] containing three imaginary units i_1, i_2, i_3 that are related as follows

$$i_1^2 = i_2^2 = i_3^2 = 1 \quad (3)$$

$$i_1 i_2 i_3 = i_2 i_3 i_1 = i_3 i_1 i_2 = -1 \quad (4)$$

$$i_1 i_3 i_2 = i_2 i_1 i_3 = i_3 i_2 i_1 = 1 \quad (5)$$

Therefore, the quaternion structure of our hidden Multiverse [41] in six-dimensional space (see Fig. 2) will be described by the formula $f_{q,r,s}(x, y, z) + i_1 q + i_2 r + i_3 s$, where

- the term $i_1 q + i_2 r + i_3 s$ determines the coordinates of the corresponding invisible universe,
- and the term $f_{q,r,s}(x, y, z)$ determines distribution of physical content in this universe.

Lisa Randall assumed: "*We can be living in a three-dimensional space sinkhole in a higher-dimensional universe".* Apparently, her assumption was justified.

In this regard, the relativistic formula (2) and others have to be corrected again as follows

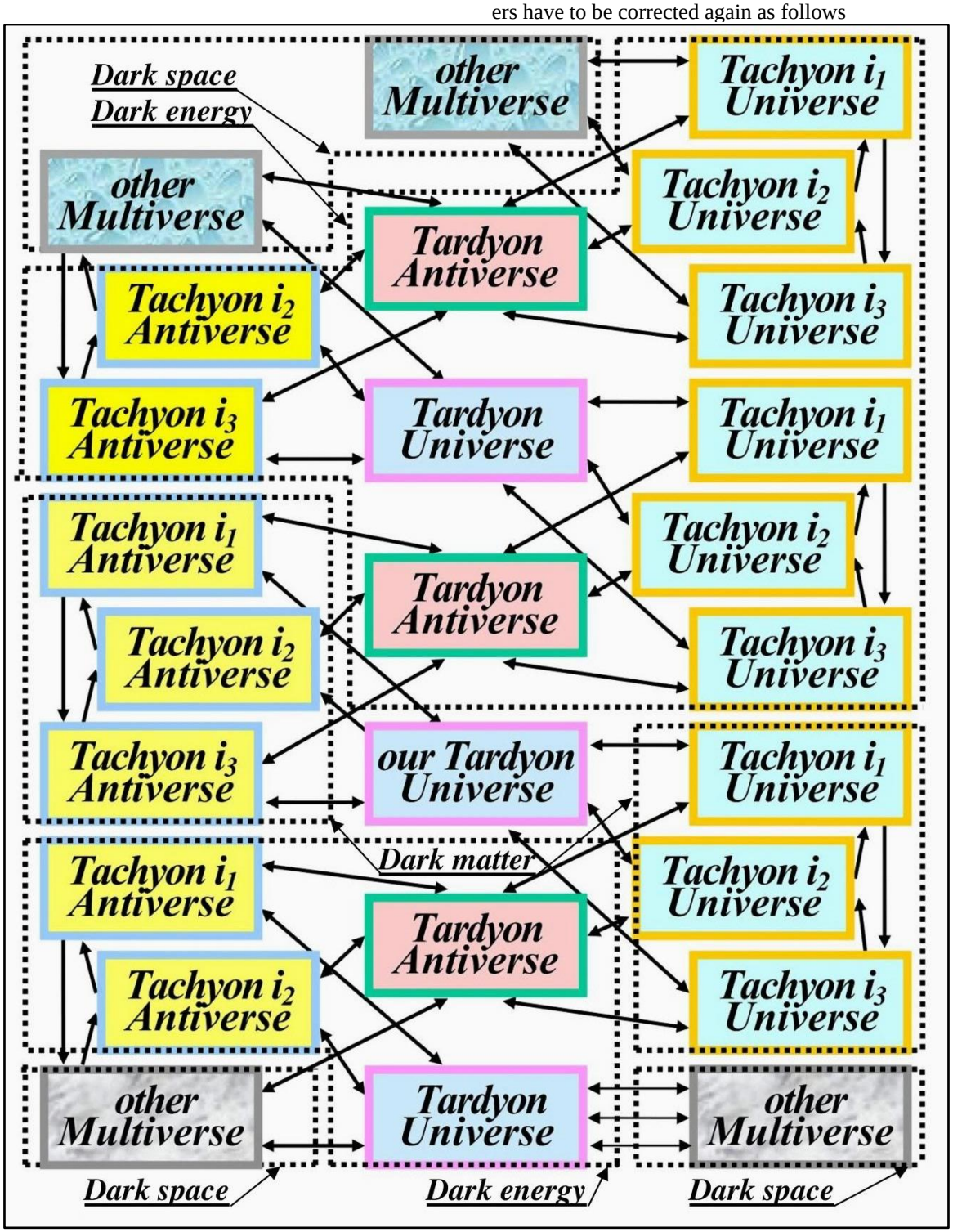

Fig. 3*. An example of the quaternion structure of the hidden Multiverse*

$$m = \frac{m_0 (i_1)^{q-q_0} (i_2)^{r-r_0} (i_3)^{s-s_0}}{\sqrt{1-[v/c-(q+r+s-q_0-r_0-s_0)]^2}} = \frac{m_0 (i_1)^{q-q_0} (i_2)^{r-r_0} (i_3)^{s-s_0}}{\sqrt{1-(w/c)^2}} \quad (6)$$

where q_0, r_0, s_0 are the coordinates of our visible universe in the hidden Multiverse;

v is the velocity measured relative to our visible tardyon universe;

c is the speed of light;

$w = v-(q+r+s-q_0-r_0-s_0)c$ is the local velocity of the universe corresponding to the coordinates q_0, r_0, s_0, that can take values only in the range $0 \le w \le c$.

Fig. 3 shows an example of such a quaternion structure of the hidden Multiverse containing twenty-two parallel universes, of which six are adjacent to our tardyon universe. And they evoke the phenomenon of dark matter. The remaining invisible universes of the hidden Multiverse evoke the phenomenon of dark energy. As can be seen, this hidden Multiverse has a helical structure and its ends are connected to other universes beyond it. Besides, universes of the hidden Multiverse are connected to two more universes that are beyond it. Consequently, beside our hidden Multiverse there are other universes that evoke the phenomenon of dark space, which, however, has not yet been recorded with existing measuring means.

In addition to the phenomenon of dark matter and dark energy the hypothesis of the hidden Multiverse also simply explains where antimatter not annihilating with matter and tachyons not violating the principle of causality are located. Antimatter in the hidden Multiverse is apparently

found in antiverses. That is, there are even several antimatters in our hidden Multiverse. And tachyons are apparently as well found in tachyon universes and antiverses.

8. How to see invisible universes

Thus, the hypothesis of the hidden Multiverse that simply and clearly explain the phenomenon of dark matter and dark energy, as well as where antimatter and tachyons are located in the hidden Multiverse, seems quite correct and promising for solving other problems of astrophysics. However, there is still no complete certainty about this until the hypothesis of the hidden Multiverse, like any other hypothesis, receives experimental confirmation.

It turns out that this hypothesis can receive its experimental confirmation. Moreover, the respective experiment is obvious enough. To prove this hypothesis, it is enough to prove the existence of invisible universes. For this purpose one should see invisible universes [42] and register in their starry skies constellations that have never been seen before. Indeed, since in other universes stars are located in space in extremely different ways, constellations in their starry sky might have extremely different configurations. And universes can be identified by these constellations, as people by photographs in their passports.

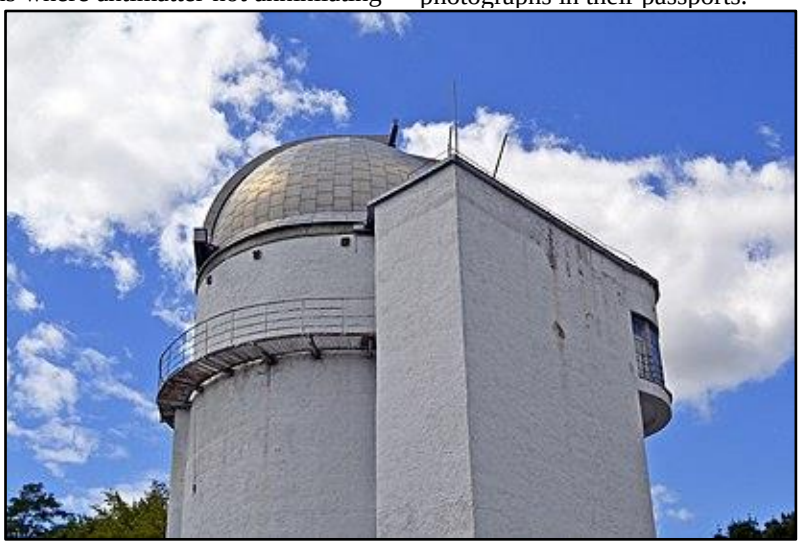

Fig. 4. *Main Astronomical Observatory National Academy of Sciences of Ukraine*

The last question remained is how to see them. And the answer is obvious. Just as you can see the adjacent room in your home, invisible from the room you are in now. You have to enter this room, or at least go to its door and look into the room. Similarly, in order to see the adjacent universe, you have to enter the portal connecting our visible universe with the adjacent universe, which is invisible outside the portal, and look at the starry sky of the portal. There must be other constellations. In fact, the map of the starry sky of our universe would gradually turn into the map of the starry sky of the adjacent universe during transition from one universe to another through the portal. It would seem that stars are moving, disappearing and appearing in the sky. And since the constellations in different universes are extremely different, even with shallow penetration into portals, the entrances to which are at least some of the so-called anomalous zones [43], the maps of the starry sky in them will be different. Moreover, these differences may be even greater than the differences recorded in 1919 in a similar experiment by Sir Arthur Stanley Eddington [44].

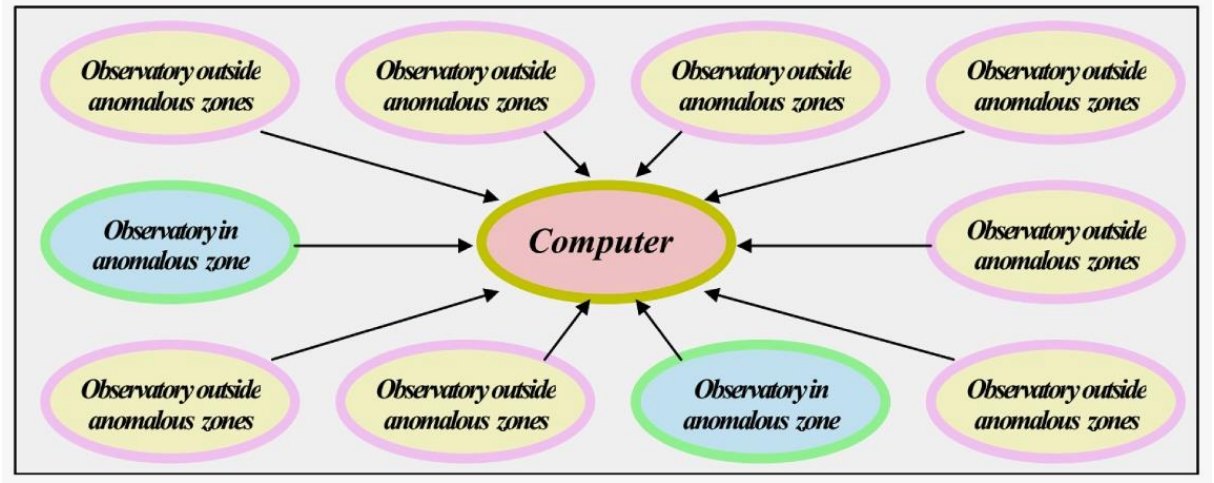

Fig. 5. *Scheme of an experiment to detect invisible universes*

But until now no one even thought that such differences could be. And no one has tested this assumption. Therefore, some astronomical observatories could have been randomly located in anomalous zones. As, for example, the Main Astronomical Observatory of the National Academy of Sciences of Ukraine (Fig. 4), which is located 12 km from the center of its capital, Kiev, in the Goloseevsky forest. And then the whole experiment will consist only in comparing the positions of the stars of the same fragment of the starry sky, observed by different observatories in anomalous zones and outside anomalous zones. And identifying their differences. To do this, such information will need to be transmitted to all observatories to a single computing center (Fig. 5) and processed there. Such an experiment is extremely simple and low-cost, and it will allow in the shortest possible time to obtain confirmation (or refutation) of the existence in nature, in addition to our visible universe, invisible outside the anomalous zones of other universes.

9. The physics of imaginary numbers is the physics of an invisible world

Invisible universes are not the only really existing invisible objects in nature that are described by imaginary numbers. Imaginary inductive and capacitive reactances and conductivities are also real physical objects in the theory of electrical circuits. Moreover, they can even be touched with hands, unlike invisible universes. Of course, not reactances or conductivities themselves are meant, but capacitors and inductors with such imaginary reactances or conductivities.

Imaginary and complex numbers are widely used in exact sciences. But in order to understand their physical nature in each particular case, it is necessary to carry out an appropriate study, like that for the STR in this article.

And in this regard, the Euler's formula ***exp(x) = cos (x) + i sin (x)*** describing the oscillatory processes of any physical nature, such as mechanical, electromagnetic, acoustic, etc. is of interest. For example, in accordance with this formula mechanical oscillations of a pendulum corresponding to the term ***cos (x)*** are always accompanied by oscillatory process corresponding to the term ***i sin (x)*** of unknown physical nature and location. Anyway, the same can be said about the oscillatory process ***cos (x)*** and any other physical nature. Therefore, explanation of physical sense of the Euler's formula requires a special study. And the only thing that can still be said about Euler's formula is that it proves the relationship between the visible and invisible worlds in which there is the same oscillatory process. Consequently, the physics of real numbers and the physics of imaginary numbers are the same science. For example, the hypothesis of the hidden Multiverse in astrophysics.

10. Conclusion

Thus, using the STR study as an example it is shown that beside the visible world studied by the physics of real numbers, there exists an invisible world that corresponds to the physics of imaginary numbers that has just begun to be developed. Moreover, the visible and invisible worlds are the same world described by complex and even hyper-complex numbers.

It is shown that the existing theory of linear electric circuits corresponds to such physics of complex numbers; whereas the alternative version of the STR described in the article and the hypothesis of the hidden Multiverse created on its basis correspond to the physics of hyper-complex numbers.

The hypothesis of the hidden Multiverse can even be experimentally confirmed by astronomical observation in the anomalous zones of constellations that are invisible outside the portals. And these observations will also confirm the existence of invisible universes.

Acknowledgements

Many famous scientists, such as Albert Einstein, Max Planck, Ernest Rutherford and others, argued that an author does not completely understand his own scientific theory if he is not able to explain it to his wife, mother-in-law and other non-specialists. Therefore, the author of this chapter, who set himself a goal of presenting the unconventional approach to solving the problems of astrophysics, astronomy, and relativistic physics proposed therein as clearly as possible, even for non-specialists, used the help of his wife for achieving it. The author expresses appreciation to Olga Ilyinichna Antonova for the help. Being an academic economist, she, nevertheless, took part in discussion of the above alternative version of the STR and its supplements. Her critical comments and valuable advice contributed to more understandable presentation of the version to a general reader.

REFERENCES:

1. Weisstein E.W. (2005). The CRC Concise Enciclopedia of Mathematics. 3-rd ed. CRS Press. Roca Raton. FL.
2. Beckmann P. (1976). A History of π. 3-rd edition. St. Martin's Press. NY.
3. Čerenkov P. A (1937) Visible Radiation Produced by Electrons Moving in a Medium with Velocities Exceeding that of Light. Physical Review. 52(4), 378-379.
doi: https://doi.org/10.1103/PhysRev.52.378
4. Adam T., Agafonova N., Aleksandrov A. et al. (2012). Measurement of the neutrino velocity with the OPERA detector in the CNGS beam. arxiv:1109.4897v4 [hep-ex].
5. Antonello M., Baibussinov B., Boffelli F. et al. (2012). Precision measurement of the neutrino velocity with the ICARUS detector in the CNGS beam. arXiv:1208.2629v2 [hep-ex].
6. Lyahov V. V., Nechshadim V. M. (2001). Complex numbers and physical reality. arXiv:physics/0102047v2 [physics.gen-ph]. (In Russian)
7. Antonov A. A. (2008) Physical Reality of Resonance on Complex Frequencies. European Journal of Scientific Research. 21(4). 627-641.
8. Antonov A. A. (2009) Resonance on Real and Complex Frequencies. European Journal of Scientific Research. 28(2). 193-204.
9. Antonov A. A. (2010) Oscillation processes as a tool of physics cognition. American Journal of Scientific and Industrial Research. 1(2). 342-349. doi:10.5251/ajsir.2010.1.2.342.349
10. Antonov A. A. (2010) Solution of algebraic quadratic equations taking into account transitional processes in oscillation systems. General Mathematics Notes. 1(2). 11-16. http://doi.org/10.17686/sced_rusnauka_2010-887
11. Spenkov G. P. (2013) Physical meaning of an imaginary unit "i". Encyclopedia of Russian thought. 20(2). 69-80. (In Russian) http://spenkov.janmax.com/ImaginUnitRus.pdf
12. Antonov A. A. (2014) Correction of the special theory of relativity: physical reality and nature of imaginary and complex numbers. American Journal of Scientific and Industrial Research. 5(2). 40-52. doi:10.5251/ajsir.2014.5.2.40.52
13. Antonov A. A. (2015) The principle of the physical reality of imaginary and complex numbers in modern cosmology: the nature of dark matter and dark energy. Journal of Russian physical and chemical society. 87(1). 328-355. (In Russian)
http://doi.org/10.17686/sced_rusnauka_2015-1119
14. Antonov A. A. (2015) Physical reality of complex numbers is proved by research of resonance. General Mathematics Notes. 31(2). 34-53.
http://www.emis.de/journals/GMN/yahoo_site_admin/assets/docs/4_GMN-9212-V31N2. 1293701.pdf
15. Antonov A. A. (2016) Ohm's Law is the general law of exact sciences. PONTE. 72(7) 131-142. doi: 10.21506/j.ponte.2016.7/9
16. Antonov A. A. (2015) Adjustment of the special theory of relativity according to the Ohm's law. American Journal of Electrical and Electronics Engineering. 3(5). 124-129. doi: 10.12691/ajeee-3-5-3
17. Antonov A. A. (2015) Ohm's law explains astrophysical phenomenon of dark matter and dark energy. Global Journal of Physics. 2(2). 145-149.
http://gpcpublishing.com/index.php?journal=gjp&page=article&op=view&path%5B%5D=294&path%5B%5D=pdf_14
18. Antonov A. A. (2016) Ohm's Law explains phenomenon of dark matter and dark energy. International Review of Physics. 10(2). 31-35
https://www.praiseworthyprize.org/jsm/index.php?journal=irephy&page=article&op=view&path%5B%5D=18615
19. Antonov A. A. (2016) Physical Reality and Nature of Imaginary, Complex and Hypercomplex Numbers. General Mathematics Notes. 35(2). 40-63.
http://www.geman.in/yahoo_site_admin/assets/docs/4_GMN-10932-V35N2. 31895146.pdf
20. Antonov A. A. (2017) The physical reality and essence of imaginary numbers. Norwegian Journal of development of the International Science. 6. 50-63. http://www.njd-iscience.com
21. Antonov A. A. (2018) Physical Reality and Essence of Imaginary Numbers in Astrophysics: Dark Matter, Dark Energy, Dark Space. Natural Science. 10(1). 11-30.
doi:10.4236/ns.2018.101002
22. Steinmetz, C.P. (2010) Theory and Calculation of Electric Circuit. Nabu Press., Charlstone, SC.
23. Antonov A. A. Chapter 11. A recent approach: Ohm's law refutes current version of the special theory of relativity. In: Mohd Rafatullah (Eds). New Insights into Physical Science. Book Publisher International. 2020. 8. 139-152. DOI: 10.9734/bpi/nips/v8
24. Antonov A.A. Chapter 2. Discussion on the Comparative Analysis of Existing and Alternative Version of the Special Theory of Relativity. In: New Insights into Physical Science. Book Publisher International. 2021. 11. 15-31. DOI: 10.9734/bpi/nips/v11
25. Hinshaw, G., Larson, D., Komatsu, E. et al. (2013) Nine Year Wilkinson Anisotropy Probe (WMAP) Observations: Cosmological Parameter Results. arXiv: 1213.5226 [astro-ph/CO].
26. Adam, R., Ade, P.A.R., Aghanim, N. et al. (2015) Plank 2015 results. 1. Overviev of products and scientific results. arXiv:1502.01582v2 [astro-ph.CO].
27. Oort J.H. (1932). The force exerted by the stellar system in the direction perpendicular to the galactic plane and some related problems. Bulletin of the Astronomical Institutes of the Netherlands. 6. 249-287. http://absabs.harvard.edu/abs/1932BAN.....6..249O
28. Zwicky F. (1933). Die Rotverschiebung von extragalaktischen Nebeln. Helvetica Physica Acta. 6. 110-127. http://adsabs.harvard.edu/abs/1933AcHPh...6..110Z
29. Perlmutter, S. (2012) Nobel Lecture: Measuring the acceleration of the cosmic expansion using supernovae. Reviews of Modern Physics. 84(3). 1127-1149.

doi: 10.1103/RevModPhys.84.1127

30. Schmidt B.P. (2012). Nobel Lecture: Accelerating expansion of the Universe through observations of distant supernovae. Reviews of Modern Physics. 84(3). 1151-1163.

doi: 10.1103/RevModPhys.84.1151

31. Riess A.G. (2012). Nobel Lecture: My Path to the Accelerating Universe. Reviews of Modern Physics. 84(3).1165-1175. doi: 10.1103/ RevModPhys.84.1165

32. Pilar Ruiz-Lapuente. Ed. (2010). Dark Energy: Observational and Theoretical Approaches. Cambridge university press. Cambridge, UK

33. Amendola L, Tsujikawa S. (2010). Dark Energy: Theory and Observations. Cambridge university press. Cambridge, UK

34. Bertone G. Ed. (2013). Particle Dark Matter: Observations, Models and Searches. Cambridge university press. Cambridge, UK

35. Sanders R.H. (2014). The dark matter problem: a historical perspective. Cambridge university press. Cambridge, UK

36. Antonov, A. A. (2016) Star Gate of the Hidden Multiverse, Philosophy and Cosmology, 6, 11-27. (In Russian). http://ispcjournal.org/journals/2016-16/Antonov16.pdf

37. Antonov A. A. (2016) What Physical World do We Live in? Journal of Modern Physics, 7(14), 1933-1943 http://dx.doi.org/10.4236/jmp.2016.714170

38. Kantor I.L., Solodovnikov A.S. (1989). Hypercomplex numbers, Springer. Verlag, Berlin.

39. Antonov A. A. (2015). Quaternion structure of the hidden Multiverse: explanation of dark matter and dark energy. Global Journal of Science Frontier Research A: Physics and Space Science. 15(8). 8-15. https://globaljournals.org/GJSFR_Volume15/2-Quaternion-Structure-of-the-Hidden.pdf

40. Antonov A.A. (2020) How to Discover Invisible Universes. Norwegian Journal of development of the International Science. 41. 28-38. http://www.njd-iscience.com

41. Antonov A. A. Chapter 1. Documenting How to See Invisible Universes. In: Mohd Rafatullah (Eds). New Insights into Physical Science. Book Publisher International. 2021. 11. 1-14. DOI: 10.9734/bpi/nips/v11

42. Antonov A. A. Chapter 3. Study on Universes Being Invisible on Earth Outside the Portals Are Visible in Portals. In: Mohd Rafatullah (Eds). New Insights into Physical Science. Book Publisher International. 2021. 11. 31-51. DOI: 10.9734/bpi/nips/v11

43. Chernobrov V. A. (2006) Encyclopaedia of Mysterious Places of the Earth. Veche Publishing, Moscow. In Russian

44. Dyson F.W., Eddington A.S., Davidson C. A Determination of the Deflection of Light by the Sun's Gravitational Field, from Observations Made at the Total Eclipse of May 29, 1919. Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences. 1920. 220, 291-333. DOI: 10.1098/rsta.1920.0009.

TECHNICAL SCIENCES

INTEGRATED DEVELOPMENT ENVIRONMENT SUPPORT FOR DELAY TOLERANT NETWORKING

Babeniuk G.
Phd, Department of Aeronavigation of National Aviation University, Kyiv, Ukraine
DOI: 10.24412/3453-9875-2021-54-1-47-48

Abstract

Delay tolerant networking (DTN) architecture based on scenario where only the next hop needs to be available for data to be transferred that will allow delivering service to remote areas around the world. In order to improve the basic functionality of DTN the DTN network test software should be developed. In this article is represented the programming language and IDE that can perfectly support developers in implementation test cases for Delay Tolerant Networking.

Keywords: Delay Tolerant Networking, Python, integrated development environment (IDE).

In order to develop and test code Eclipse IDE can be used. It contains a base workspace and an extensible plug-in system for customizing the environment; eclipse is written mostly in Java and its primary use is for developing Java applications, but it may also be used to develop applications in other programming languages via plug-ins, including Ada, ABAP, C, C++, C#, COBOL,
Perl, PHP, Prolog, Python, R, Ruby (including Rails framework), Rust, Scala, Clojure, Groovy, Scheme, Erlang, etc [1]. In the given case to develop routing algorithm Python can be used due to the following reasons:

- Python is free and open-source.
- Python is easy to learn for even a novice developer; its code is easy to read and you can do a lot of things just by looking at it. Also, it can execute a lot of complex functionalities with ease, thanks to the standard library.
- Python supports multiple systems and platforms.
- Python is Object Oriented Programming-driven.
- Gives rise to quick development by using less code; even a small team can handle Python effectively.
- A large number of resources are available for Python language.
- Python doesn't have pointers like other C-based languages, making it much more reliable; along with that, errors never pass silently unless they're explicitly silenced. This allows to see and read why the program crashed and where to correct your error.
- Python language has an active support community with many web sites, mailing lists, and USENET "netnews" groups that attract a large number of knowledgeable and helpful contributes [2].

Developed algorithm can have the following structure [4]:

- Hierarchical data structures was used to keep the data and program structured
- Indentations in code are consistent
- For all keywords and variables the lower case is used
- Same variable name for different things in code are avoided
- Program is divided into functions
- One function in proposed code perform only one task
- Comments are added

Python's statements include (among others):

- The assignment statement (token '=', the equals sign).
- The if statement, which conditionally executes a block of code, along with else and elif (a contraction of else-if).
- The for statement, which iterates over an iterable object, capturing each element to a local variable for use by the attached block.
- The while statement, which executes a block of code as long as its condition is true.
- The try statement, which allows exceptions raised in its attached code block to be caught and handled by except clauses; it also ensures that clean-up code in a finally block will always be run regardless of how the block exits.
- The raise statement, used to raise a specified exception or re-raise a caught exception.
- The def statement, which defines a function or method.
- The with statement, from Python 2.5 released in September 2006, which encloses a code block within a context manager (for example, acquiring a lock before the block of code is run and releasing the lock afterwards, or opening a file and then closing it), allowing Resource Acquisition Is Initialization (RAII)-like behavior and replaces a common try/finally idiom.

Such a structure of source code makes code more readable and flexible (Table 1 [3]).

Table 1

Program module

Module	Description
Argparse	The argparse module makes it much more easy to write user-friendly command-line interfaces.
Json	JSON (JavaScript Object Notation)specified by RFC 7159 (which obsoletes RFC 4627) and by ECMA-404, is a lightweight data interchange format inspired by JavaScriptobject literal syntax; json exposes an API familiar to users of the standard library marshal and pickle modules.
Sys	This module provides access to some variables used or maintained by the interpreter and to functions that interact strongly with the interpreter; it is always available.
Os	This module provides a portable way of using operating system dependent functionality and is very useful.
Re	This module provides regular expression matching operations similar to those found in Perl; both patterns and strings to be searched can be Unicode strings as well as 8-bit strings.
Math	This module is always available; it provides access to the mathematical functions defined by the C standard.
Pprint	The pprint module represents a capability to “pretty-print” arbitrary Python data structures in a form which can be used as input to the interpreter.

REFERENCES:

1. https://en.wikipedia.org/wiki/Eclipse_(software)
2. https://en.wikiversity.org/wiki/Python_Concepts/Why_learn_Python
3. https://docs.python.org/2/tutorial/modules.html
4. Hitchhiker. “Guide to Python”

SPECIALIZED INFORMATION AND SOFTWARE FOR DATA PROTECTION OF COMPLEX TECHNICAL SYSTEMS

Volianskyi Yu.,
student, 4th year, National Research Nuclear University MEPhI (Moscow Engineering Physics Institute), *Moscow, Russian Federation*
Volyanskaya Ya.,
candidate of technical science, the associate professor, the associate professor of department of electrical engineering of ship and robotized complexes, Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Nikolaev, Ukraine
Volyanskiy S.
candidate of technical science, the associate professor of department of electrical engineering of ship and robotized complexes, Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Nikolaev, Ukraine

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЕ ИНФОРМАЦИОННОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ДАННЫХ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Волянский Ю.
студент 4 курса, Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ (МИФИ) Москва, Российская Федерация
Волянская Я.
кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры электрической инженерии судовых и роботизированных комплексов Национального университета кораблестроения имени адмирала Макарова, г. Николаев, Украина
Волянский С.
кандидат технических наук, доцент кафедры электрической инженерии судовых и роботизированных комплексов Национального университета кораблестроения имени адмирала Макарова, г. Николаев, Украина
DOI: 10.24412/3453-9875-2021-54-1-48-54

Abstract

The article discusses the theoretical foundations that allow the development of a search system for encrypted data with the definition of "dangerous" words for a complex technical system. The possibilities of using homomorphic encryption are analyzed and the main requirements for systems with encryption with the ability to search are highlighted. A data exchange protocol, basic requirements for the system have been developed, and an algorithm for checking messages for the presence of "dangerous" words has been developed. The scheme of operation of this algorithm is presented. A test system for searching encrypted data has been developed, and the main components of the system have been highlighted. Software implementations are made in the CLion

programming environment. The testing of the search system for "dangerous" words has been carried out. The operability of the system has been experimentally proved, the accuracy and speed of searching for encrypted data have been determined. During testing, the security of the distributed keys was confirmed, namely, the secret key received on the server side cannot decrypt data that was encrypted on the client side.

Аннотация

Рассмотрены теоретические основы, позволяющие разработать систему поиска по зашифрованным данным с определением «опасных» слов для сложной технической системы. Разработаны протокол обмена данными, основные требования к системе, а также разработан алгоритм проверки сообщений на наличие «опасных» слов. Разработана тестовая система поиска на зашифрованных данных, выделены основные компоненты системы. Экспериментально доказана работоспособность системы, определены точность и скорость поиска по зашифрованным данным.

Keywords: algorithm, homomorphic encryption, data exchange, software, protocol of use, complex technical system.

Ключевые слова: алгоритм, гомоморфное шифрование, обмен данными, программное обеспечение, протокол использования, сложная техническая система.

Постановка проблемы.

Сложными техническими системами (СТС) называют системы, поведение которых трудно моделировать из-за нелинейных зависимостей между их частями или сложных взаимодействий между данной системой и окружающей средой [1–3]. Такие системы имеют специфические свойства: нелинейность, гетерогенность, частичная стохастичность, неопределенность, петли обратной связи (циклы) [4, 5], и применяются в различных областях, включая транспорт, физику, нелинейную динамику, биологию, информатику, астрономию, социологию, экономику и прочее [6].

Главным отличием современных СТС от систем, существовавших в «докомпьютерный период» является введение информационной компьютерной и телекоммуникационной компонент. Поэтому современные СТС можно обозначить термином «сложные информационно-технические системы».

Структуры современных СТС отличаются большим разнообразием. В связи с этим перед разработчиками систем возникает ряд серьезных проблем, связанных, в частности, с проведением на начальных стадиях проектирования качественного и количественного анализа эффективности функционирования систем, что в свою очередь приводит к совершенствованию средств их обслуживания.

При синтезе современных СТС необходимо учитывать следующие факторы и параметры:

- комплексность – целостный подход к автоматизации технологических процессов;
- оперативность – скорость обработки и доступность информации;
- гибкость – способность быстро менять конфигурацию или функциональный набор в зависимости от изменения внешних условий;
- распределенность – многоуровневая структура и наличие иерархии серверов;
- взаимосвязь с другими СТС – возможность импортировать и экспортировать массивы данных в общепринятых форматах обмена данными;
- доступность информации извне.

Последнее особенно значимо. В настоящее время существенно увеличилась степень информационной открытости организаций, объектов для внешних потребителей. Современная СТС должна иметь механизмы публикации своих данных в Интернет для внешних пользователей (прайс-листы, перечень услуг, объявления). Естественно, не все данные разработчики делают общедоступными, поэтому большое внимание уделяется защите СТС от несанкционированного доступа и правильной организации уровней доступа к информации, что особенно актуально в настоящее время при разработке сложных технических систем специального назначения.

Результаты исследований.

Всю информацию можно шифровать. Шифрование – хорошо известный метод сохранения конфиденциальности информации. Современная криптография предоставляет обширный набор схем шифрования. С другой стороны, все данные должны быть тщательно проверены, чтобы не допустить организацию противоправных действий. Тогда для обеспечения безопасности требуется обрабатывать данные в зашифрованном виде.

Для решения подобных проблем разработано гомоморфное шифрование, которое позволяет не только шифровать и расшифровывать данные, но и анализировать их, никому не раскрывая. Применение данного вида шифрования целесообразно в разных сферах: электронном голосовании; базах данных; облачных вычислениях; в сложных технических системах различного назначения [7].

Современные почтовые серверы, такие как IMAP-серверы, файловые серверы и другие серверы для хранения данных, как правило, должны быть полностью доверенными, ибо иметь доступ к данным и, следовательно, пользователи должны быть уверены, что их данные не раскрывают без разрешения, что создает нежелательные риски безопасности и конфиденциальности в приложениях. Фундаментальная проблема заключается в том, что перемещение вычислений в хранилище данных кажется очень трудоемким особенно, когда данные зашифрованы, и многие задачи вычислений над зашифрованными данными ранее не имели практического решения.

Одним из подходов решения данной задачи является извлечение документов с сервера и их расшифровка. Другой подход – это оставить все данные на сервере и разработать алгоритм поиска на зашифрованных данных с использованием методов индексирования каждого элемента или последовательного сканирования без индекса. Недостаток в использовании индекса заключается в том, что его

хранение и обновление требует существенных расходов. Так же этот метод не подходит для данных, которые доступны только для чтения.

Таким образом, лучший вариант – проведение последовательного сканирования без индексации каждого элемента. Данный метод применяется в современной криптографии для поиска на зашифрованных данных, схема приведена на рис. 1.

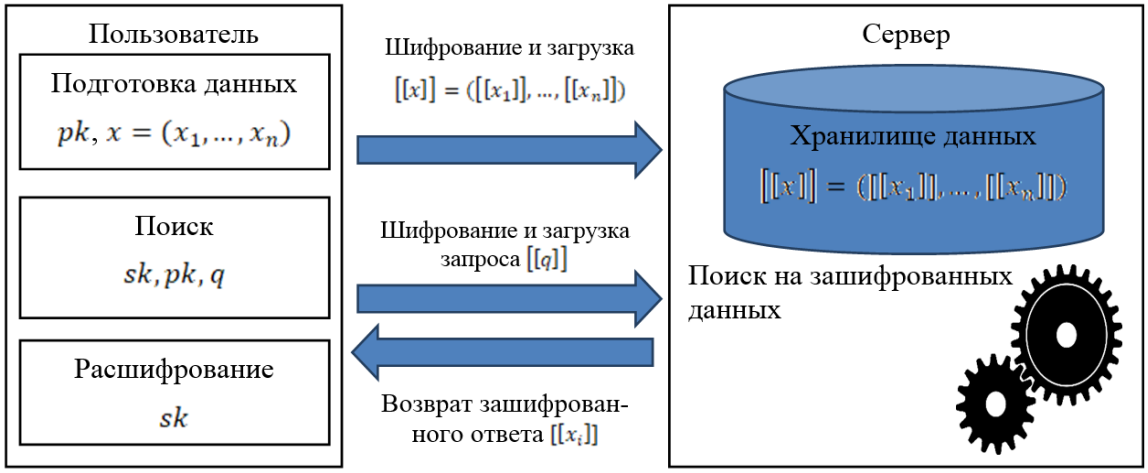

Рис. 1. Схема поиска на зашифрованных данных

Для систем шифрования с возможностью поиска крайне важно доказать, что они могут сохранять конфиденциальность данных пользователя и предотвращать утечку информации, поэтому их устойчивость должна быть проверена на предмет возможных внутренних или внешних атак на ненадежный сервер. Сервер не должен быть в состоянии узнать что-либо об исходных данных из зашифрованного текста или процесса поиска. Статистика утечек информации представлена на рис. 2.

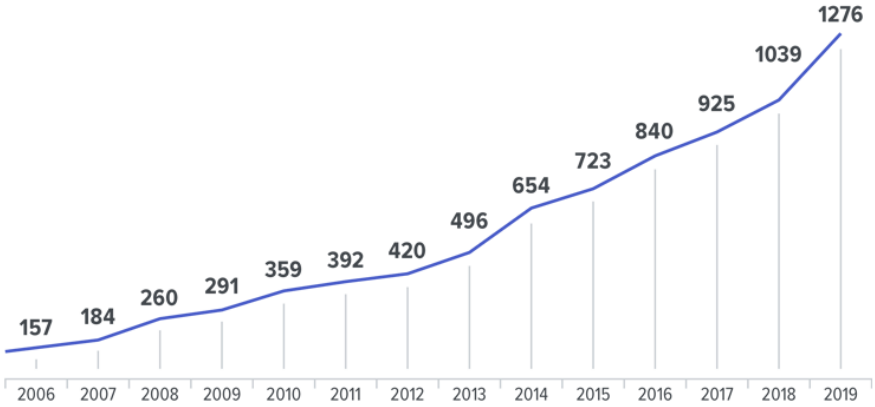

Рис. 2. Количество утечек информации в мире

Известны три свойства безопасности [8], которые каждая поисковая система шифрования должна поддерживать. Контролируемый поиск: неавторизованные пользователи не должны иметь возможности осуществлять поиск на сервере [9, 10]. Скрытый запрос – метод, который скрывает незашифрованный запрос от ненадежного сервера. Изоляция запросов – в процессе поиска сервер не должен знать ничего, кроме результатов поиска в системах шифрования с возможностью поиска. Если есть совпадение между запросом и индексом, сервер может найти связанные документы и вернуть их пользователю данных.

Разработан алгоритм поиска по зашифрованным данным (рис. 3). Данный алгоритм позволяет просто проверять на вхождение определенных (например, «опасных») слов в зашифрованные данные. Это дает возможность построить психологический портрет человека, который будет пользоваться разработанной системой и определять его дальнейшие действия, не раскрывая полностью его личности. Таким образом, клиент и его данные не окажутся в открытом доступе, но система сможет четко понимать, кто с ее помощью общается.

Для реализации работы разработанной системы обмена сообщений с проверкой зашифрованных данных использовалась ОС Linux Mint 19.3 на базе Virtual Box с конфигурацией: 4 ядра для процессора, 8 Гб оперативной памяти и 60 Гб выделенного пространства для жесткого диска. В качестве среды программирования выбрана CLion, поддерживающая разработку проектов с CMake. В качестве библиотеки, поддерживающей гомоморфное шифрование, выбрана библиотека HElib.

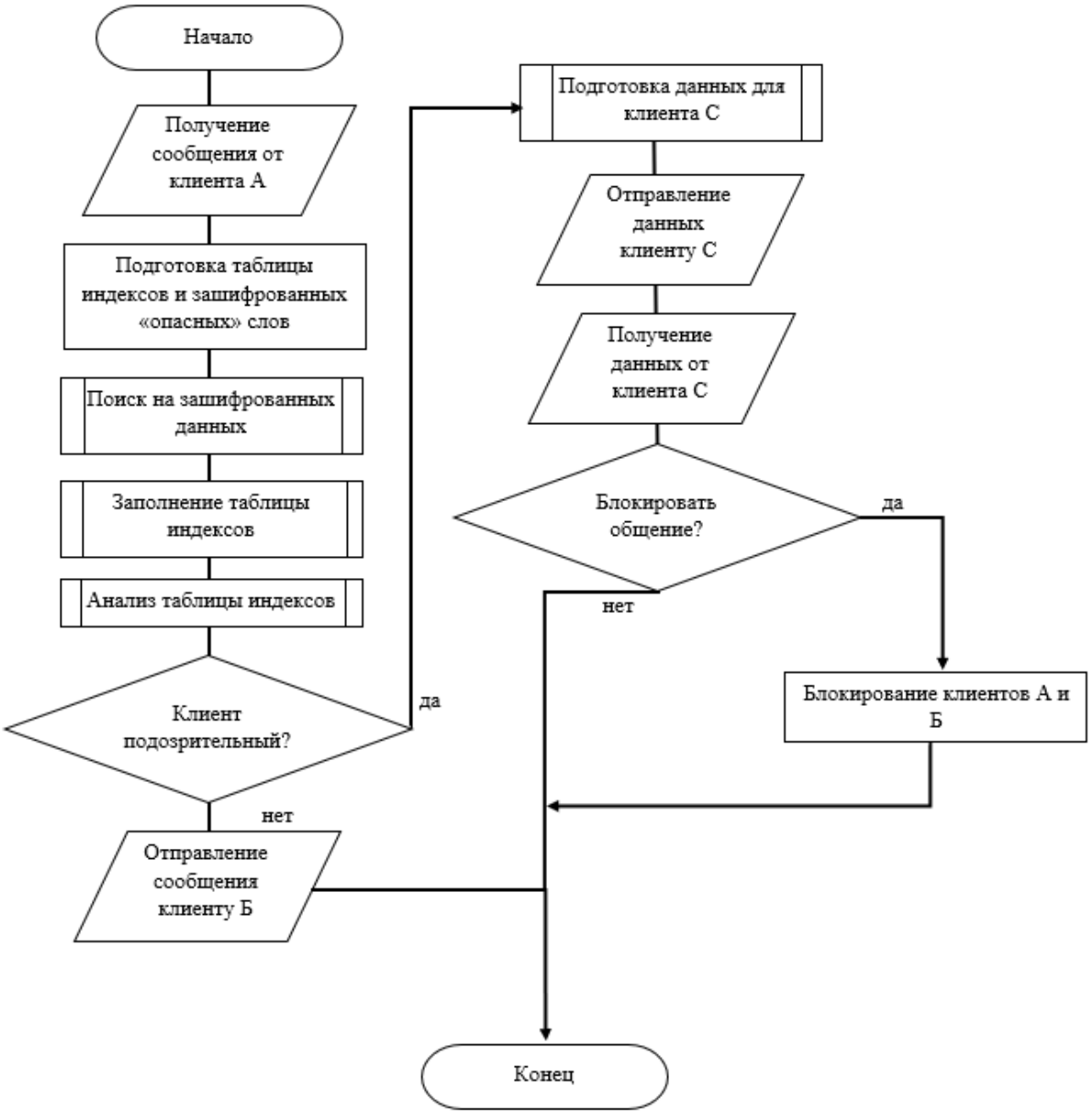

Рис. 3. Блок-схема алгоритма проверки сообщений на наличие «опасных» слов

Для тестирования системы была проверена возможность получения открытого и закрытого ключей на стороне сервера из данных клиента. Процесс тестирования представлен на схеме рис. 4. В процессе тестирования подтверждено, что секретный ключ, который был получен на стороне сервера, не может расшифровать данные, которые были зашифрованы на стороне клиента.

Следующим этапом тестирования была проверка скорости поиска сервера на наличие в сообщении от клиента подозрительных слов. Данный тест описывается следующей схемой (рис. 5).

На рис. 6 представлен график изменения скорости поиска при увеличении объёма данных. Теоретически график поиска должен быть логарифмической кривой, так как в его основе лежит алгоритм Binary Raffle Protocol, но с учетом того, что кроме поиска проводятся манипуляции с найденным результатом, график имеет отклонения от теоретической линии. Ошибка отклонения незначительна и составляет $\pm 5\%$.

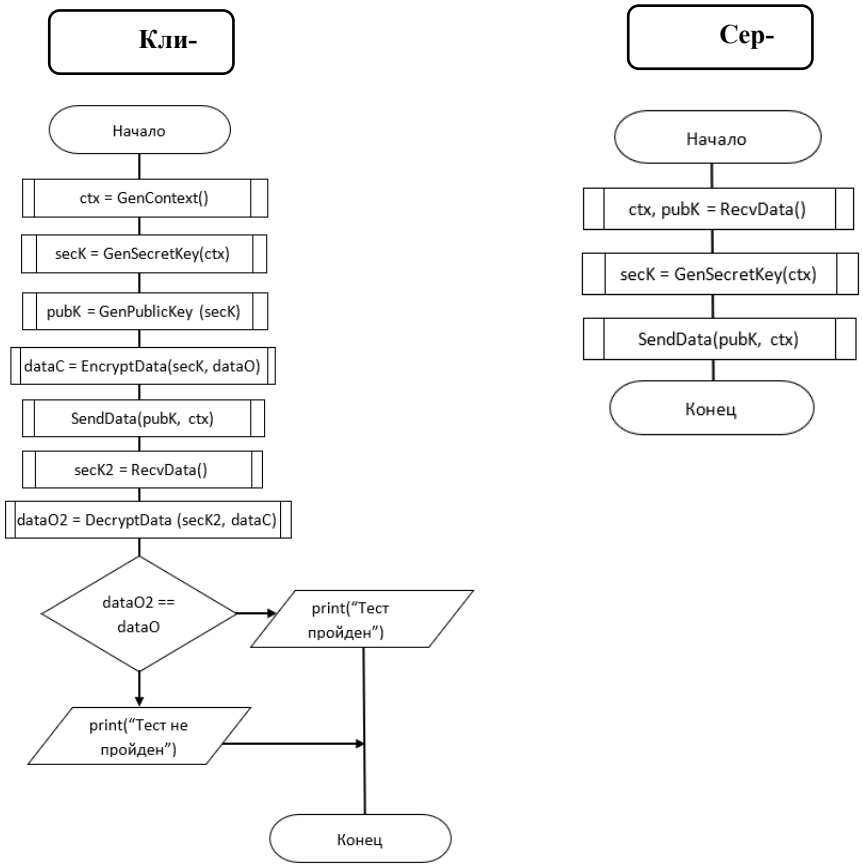

Рис. 4. Тестирование ключей при обмене между клиентом и сервером

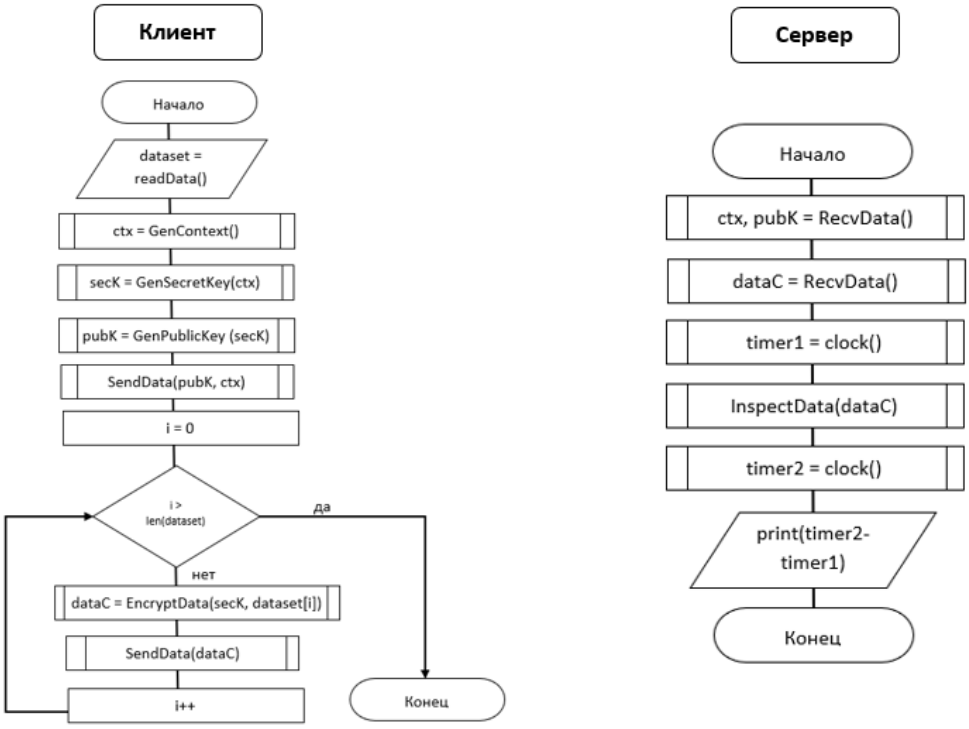

Рис. 5. Тестирование скорости работы алгоритма поиска

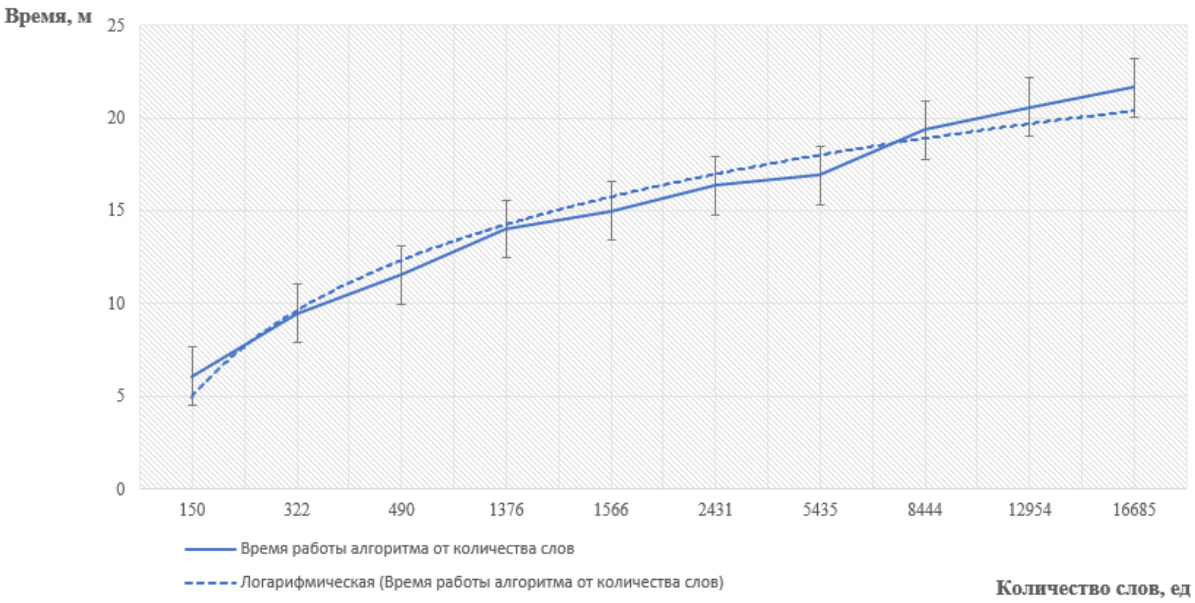

Рис. 6. Время работы алгоритма в зависимости от количества слов

На диаграмме (рис. 7) показана зависимость количества найденных «опасных» слов от количества имеющихся в данных таких слов. Видно, что ошибка не носит постоянный характер, а является вероятностной. Так же следует учесть, что стиль письма пользователя влияет на определение «опасных» слов.

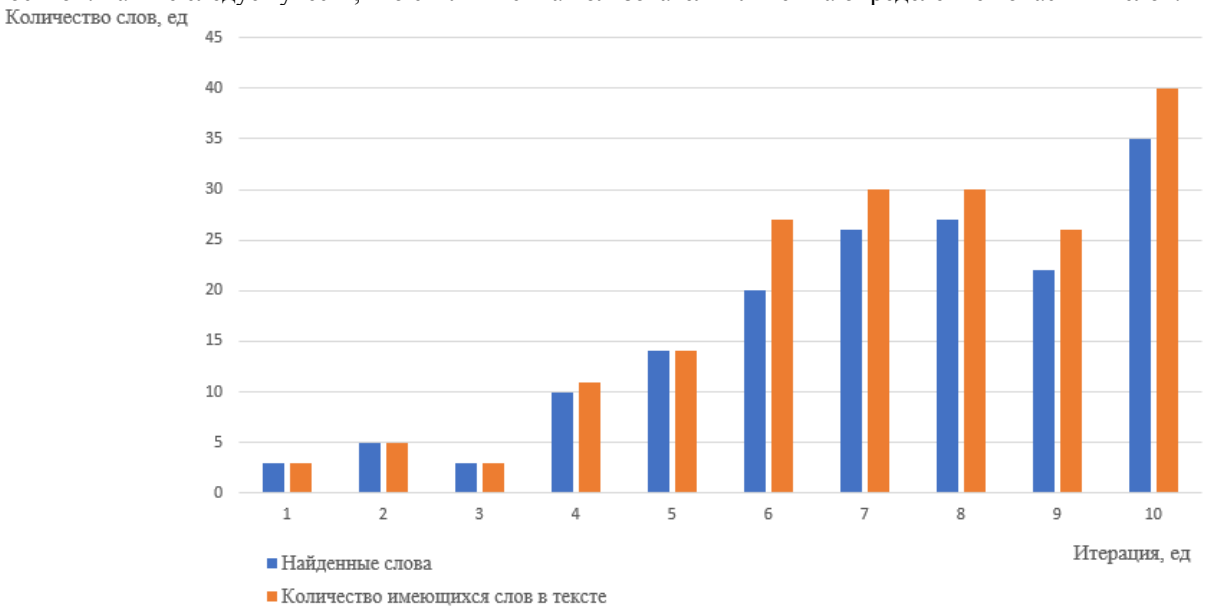

Рис. 7. Количество найденных слов и имеющихся

Еще одним результатом тестирования является то, что в некоторых случаях не были найдены определенные слова. Это произошло из-за того, что в схеме гомоморфного поиска используются вероятностные алгоритмы Монте Карло, которые на основе заданной вероятности появления ошибки проводят поиск. В данном алгоритме за ошибку было принято значение $\varepsilon=2^{-2}$, что является наибольшей допустимой ошибкой в данном алгоритме. При уменьшении вероятности появления ошибки увеличивается время, затраченное на поиск «опасных» слов. В случае с малым объёмом данных это не критично, но при увеличении объёма скорость поиска будет несколько снижаться. Однако, это не снижает практической ценности исследуемого информационного и программного обеспечения для СТС.

Выводы.

На основании проведенного анализа существующих систем поиска на зашифрованных данных выделены критерии, по которым следует разрабатывать алгоритмы защищенного поиска с использованием гомоморфного шифрования.

Разработана тестовая система поиска на зашифрованных данных, выделены основные компоненты системы. Программные реализации выполнены в среде программирования CLion.

Проведено тестирование системы поиска «опасных» слов. Экспериментально подтверждена безопасность распространяемых ключей, определены точность и скорость поиска по зашифрован-

ным данным. Ошибка отклонения экспериментальной кривой скорости от теоретической кривой незначительна и не превышает $\pm 5\,\%$.

Предложено решение для дальнейшего усовершенствования алгоритма поиска «опасных» слов по зашифрованным данным путем изучения и составления правил появления «опасных» слов для предугадывания их в тексте, что позволит снизить время поиска, а также учета стиля письма каждого пользователя сложной технической системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Цветков В.Я. Сложные технические системы // Образовательные ресурсы и технологии. 2017. №3 (20). С. 86–92.

2. Bar-Yam, Yaneer (2002). «General Features of Complex Systems» (PDF). Encyclopedia of Life Support Systems. EOLSS UNESCO Publishers, Oxford, UK. Retrieved 16 September 2014.

3. Цветков В.Я. Сложные технические системы // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2016. № 10-4. С. 670–670.

4. Кудж С.А. Многоаспектность рассмотрения сложных систем // Перспективы науки и образования. 2014. № 1. С 38–43.

5. Туголуков Е.Н., Ткачев А.Г., Рухов А.В. и др. Проектирование сложных систем. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. тех. ун- та, 2008. – 32 с.

6. Савиных В. Системность в диссертационных исследованиях // Образовательные ресурсы и технологии. 2015. №2 (10). С. 92–98.

7. Volianskyi, Yu. Development of practical implementation of the use of schemes of homomorphic search / Yu. Volianskyi,/ Slovak international scientific journal. – Bratislava, Slovakia. 2021. № 48. Vol. 1. P. 7–12.

8. Dawn Xiaoding Song D.W.A.P. Proceeding 2000 IEEE Symposium on Security and Privacy. S&P 2000 // Practical techniques for searches on encrypted data. Berkeley. 2000. P. 44–55.

9. Goh E.J. Secure Indexes // Cryptology ePrint Archive, Март 2004. P. 1–18.

10. Ding M G.F.J.Z.Z.H. In Proceedings of the 2012 3rd IEEE International Conference on Network Infrastructure and Digital Content // In Proceedings of the 2012 3rd IEEE International Conference on Network Infrastructure and Digital Content. Beijing. 2013. P. 526–530.

11. Adi Akavia C.G.S.H.M.L. Setup-Free Secure Search on Encrypted Data: Faster and Post-Processing Free // Proceedings on Privacy Enhancing Technologies, Jul 2019. P. 87–107.

12. Sageman M. Leaderless Jihad: Terror Networks in the Twenty-First Century // Philadelphia: University of Pennsylvania Press, Dec 2008. P. 318–320.

13. Ayantika Chatterjee I.S.G. Sorting of Fully Homomorphic Encrypted Cloud Data: Can Partitioning be effective? // IEEE Transactions on Services Computing. 2017. P. 1000–1003.

14. Muhammad Naveed S.K.C.V.W. Inference Attacks on Property-Preserving Encrypted Databases // CCS '15: Proceedings of the 22nd ACM SIGSAC Conference on Computer and Communications Securit. 2015. P. 87–91.

15. Gentry C. Proceedings of the Annual ACM Symposium on Theory of Computing // Fully Homomorphic Encryption Using Ideal Lattices. 2009. P. 169–178.

16. Zvika Brakerski V. V. Efficient Fully Homomorphic Encryption from (Standard) LWE // SIAM Journal on computing. 2014. – P. 831–871.

17. Craig Gentry S.H.V.V. i-Hop Homomorphic Encryption and Rerandomizable Yao Circuits // В кн.: Advances in Cryptology – CRYPTO 2010 / ред. Craig Gentry S.H.V.V. Santa Barbara: Springer. 2010. P. 155–172.

ANALYSIS PARAMETERS OF STATIONARY THERMAL PROCESSES IN OPERATION REAL POWER CABLE INSULATED MEDIUM VOLTAGE XLPE

Gontar Yu.,
Master of Production, Department of Electrical Insulation and Cable Engineering, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", str. Kirpychova, 21, Kharkiv, Ukraine, 61002
Shchebeniuk L.,
Ph. D. (Tech.), Professor, Department of Electrical Insulation and Cable Engineering, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", str. Kirpychova, 21, Kharkiv, Ukraine, 61002
Huryn A.
Dr. Sc.(Tech.), Professor, Department of Electrical Insulation and Cable Engineering, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", str. Kirpychova, 21, Kharkiv, Ukraine, 61002

АНАЛІЗ ПАРАМЕТРІВ СТАЦІОНАРНИХ ТЕПЛОВИХ ПРОЦЕСІВ В РЕАЛЬНИХ РЕЖИМАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СИЛОВИХ КАБЕЛІВ СЕРЕДНЬОЇ НАПРУГИ З ІЗОЛЯЦІЄЮ ІЗ ЗШИТОГО ПОЛІЕТИЛЕНУ

Гонтар Ю.Г.,
Майстер виробничого навчання кафедри Електроізоляційної та кабельної техніки, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», вул. Кирпичова, 21, Харків, Україна, 61002
Щебенюк Л.А.,
канд. техн. наук, професор кафедри Електроізоляційної та кабельної техніки, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», вул. Кирпичова, 21, Харків, Україна, 61002
Гурин А.Г.
доктор техн. наук, професор, професор кафедри Електроізоляційної та кабельної техніки, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», вул. Кирпичова, 21, Харків, Україна, 61002
DOI: 10.24412/3453-9875-2021-54-1-55-58

Abstract
The development of medium voltage cable distribution networks is aimed at the introduction of cables with cross-linked polyethylene insulation, which have significant advantages over cables with paper impregnated insulation. The most important consumer characteristic of power cables is their capacity, which is determined by the processes of heat and mass transfer. The article proposes a model that provides a comprehensive analysis of the parameters of stationary thermal processes at any current load in real operating modes due to the combination of structural and thermophysical parameters of the cable with environmental conditions.

Анотація
Розвиток кабельних розподільчих мереж середньої напруги спрямований на впровадження кабелів з ізоляцією зі зшитого поліетилену, які мають значні переваги перед кабелями з паперовою просоченою ізоляцією. Найважливіша споживча характеристика силових кабелів – їх пропускна спроможність, яка визначається процесами тепло- та масообміну. В статті запропоновано модель, яка забезпечує всебічний аналіз параметрів стаціонарних теплових процесів за будь-якого струмового навантаження в реальних режимах експлуатації за рахунок поєднання конструктивних і теплофізичних параметрів кабелю з умовами зовнішнього середовища.

Keywords: cross-linked polyethylene insulation, medium voltage power cable, throughput, heat balance model, allowable current, thermophysical parameters.

Ключевые слова: ізоляція із зшитого поліетилену, силовий кабель середньої напруги, пропускна здатність, модель теплового балансу, допустимий струм, теплофізичні параметри.

Останні десятиліття вектор розвитку кабельних розподільчих мереж середньої напруги спрямований на впровадження кабелів з ізоляцією із зшитого поліетилену (ЗПЕ, XLPE). Кабелі з ізоляцією із зшитого поліетилену мають значні переваги перед кабелями з паперовою просоченою ізоляцією; вони надійніші в експлуатації, вимагають менших витрат на монтаж та реконструкцію [5].

Найважливішою споживчою характеристикою силових кабелів є їх пропускна спроможність [1], тобто спроможність до навантаження та перевантаження. Пропускна спроможність кабелю визначається процесами тепло- та масообміну в кабелі. Найпростішою і найуживанішою є експоненційна модель нагрівання кабелю:

$$\tau = \tau_{\max} \cdot \left(1 - e^{-t/\beta}\right), \qquad (1)$$

де β – постійна нагрівання, що дорівнює добутку теплоємності кабелю на його тепловий опір $\beta = C \cdot S$ і є параметром, що відображає динаміку нагрівання кабелю.

Ця модель є наближеною, тому надає лише загальну інформацію щодо нагрівання кабелю. Для певних вимог та для інноваційних кабельних конструкцій необхідною умовою визначення навантажувальної здатності при реальному стаціонарному режимі експлуатації є використання моделі теплового балансу.

Тепловий потік від поверхні кабелю до оточуючого середовища включає в себе процеси теплопередачі через теплопровідність (міжмолекулярний процес передачі тепла), конвективний теплообмін (перемішування часток речовини з різною температурою в просторі), випромінювання (передача електромагнітної енергії від більш нагрітого тіла).

Для застосування моделі теплового балансу мають бути визначені три основні складові:

1) потужність тепловиділення;

2) потужність теплового потоку, який може бути переданий в конструкції кабелю;

3) потужність теплового потоку, який може бути переданий з поверхні кабелю в оточуюче середовище.

Всі ці складові є взаємопов'язаними і по суті є системою математичних моделей, яка спрямована на визначення тривало допустимого струму $I_{\text{п}}$.

Потужність тепловиділення складається з втрат в жилі, діелектричних втрат та електромагнітних втрат в металевих захисних елементах конструкції та визначається міжнародною нормативною документацією [4].

Оскільки ізоляція ЗПЕ-кабелів є неполярною, то діелектричними втратами за промислової частоти (десяті долі Вт/м) можна знехтувати порівняно із втратами в жилі (кілька сотень Вт/м). Відтак потужність тепловиділення кабелю P_{k} є сумою втрат в жилі P_{g} і в металевих елементах конструкції (мідний екран):

$$P_k = P_g + P_e = I^2 R_g(\Theta_g) + I^2 R_g(\Theta_g) k_e, \quad (2)$$

де k_{e} – коефіцієнт взаємоіндукції між жилою та екраном,

$$k_e = \frac{P_e}{P_g} = \omega^2 \cdot M^2 \cdot R_e / (R_e^2 + \omega^2 \cdot M^2) R_g;$$

ω – кругова частота;

R_{e} – електричний опір мідного екрану за температури екрану в даному режимі навантаження.

$R_{\text{g}}(\Theta_{\text{g}})$ – електричний опір жили за температури жили в даному стаціонарному режимі навантаження.

Розрахунок потужності теплового потоку, який може бути переданий від кабелю до оточуючого середовища виконується шляхом аналогії процесів переносу зарядів і процесу переносу тепла.

Для розрахунку потужності теплового потоку, який може бути переданий від кабелю до оточуючого середовища застосовують методи розрахунку електричних ланцюгів. Якщо елементи конструкції кабелю – це послідовно нанесені радіальні шари різних матеріалів, а границі між ними є ізотермами, то різниця температур τ_{i} (різниця потенціалів) на i-тому елементі конструкції дорівнює добутку потужності теплового потоку P_{i} через цей елемент на його тепловий опір S_{i}: $\tau_{\text{i}} = P_{\text{i}} \cdot S_{\text{i}}$, а сума різниць температур на всіх коаксіальних елементах конструкції є різницею температур між жилою Θ_{g} і поверхнею кабелю Θ_{s}:

$$\Theta_g - \Theta_s = \sum_{i=1}^{n} P_i \cdot S_i \quad (3)$$

Якщо в кабелі є кілька джерел тепла, то потужності теплового потоку через елементи конструкції можуть бути різними. В ЗПЕ-кабелях, щонайменше, є два джерела тепла: жила і мідний екран, тому через елементи конструкції, розташовані поверх металевого екрану, протікає сума двох потужностей:

$$\Theta_g - \Theta_s = \sum_{i=1}^{n} P_i \cdot S_i + (P_e + P_g) \cdot \sum_{i=m+1}^{n} S_i \quad (4)$$

де m – кількість коаксіальних елементів конструкції кабелю, розташованих між жилою і мідним екраном;

n – загальна кількість коаксіальних елементів конструкції кабелю.

Експериментальне визначення температури поверхні кабелю є досить реальною технічною процедурою в умовах виробництва, до того ж неруйнівною. воно може бути використане в цих умовах для експрес-контролю потужності теплового потоку, який може бути переданий через конструкцію кабелю в різних стаціонарних режимах навантаження.

Процес теплопередачі від поверхні кабелю в оточуюче середовище є складним і багатовимірним. Для спрощення вирішення такої задачі цей процес розділяють на елементарні: на теплопровідність, випромінювання і конвекцію. Відповідно до двох основних процесів охолодження кабелю в повітрі, – конвективного теплообміну і випромінювання, α може бути представлене сумою:

$$\alpha = \alpha_{\text{к}} + \alpha_{\text{в}} \quad (5)$$

де $\alpha_{\text{в}}$ – коефіцієнт теплопередачі випромінюванням;

$\alpha_{\text{к}}$ – коефіцієнт теплопередачі конвекцією, інтенсивність якої характеризує спеціальний критерій Нуссельта *Nu*, який характеризує інтенсивність конвективного теплообміну на границі теплоносія.

Значення *Nu* в свою чергу визначається порядком добутку двох інших теплофізичних критеріїв, – Грассгофа *Gr* і Прандтля *Pr*. Критерій Прандтля характеризує фізико-хімічні властивості теплоносія і є мірою подібності температурних і швидкісних полів в потоці; а критерій Грассгофа характеризує підйомну силу, яка виникає внаслідок різної густини теплоносія.

Значення *Gr* та *Pr* традиційно використовують для визначення параметрів охолодження кабелів у повітрі [2]:

$$\alpha_{\kappa} = Nu \cdot \lambda / d = C_1 (Gr \cdot Pr)^m \cdot \lambda / d, \quad (6)$$

$$Gr = \beta \cdot \Delta\Theta_S \cdot d^3 \cdot g / \upsilon^2; \quad (7)$$

$$Pr = \upsilon \cdot c / \lambda, \quad (8)$$

де β – температурний коефіцієнт об'ємного розширення повітря, $\beta = 1/T_{\text{ср}}$, К^{-1}, де $T_{\text{ср}}$ – середня абсолютна температура повітря;

$\Delta\Theta_s$ – різниця температур поверхні кабелю Θ_s і довкілля Θ_{oc}:

$$\Delta\Theta_s = \Theta_s - \Theta_{oc},$$

g – прискорення вільного падіння, $g = 9{,}81$ м/с^2;

ν – кінематична в'язкість повітря, $\nu = 14{,}5\cdot10^{-6}$ м^2/с;

c – питома теплоємність повітря, $c = 1{,}01\cdot10^3$ Дж/(кг·К).

C_1, m – параметри критерію Нуссельта (6), які залежать від добутку двох інших критеріїв теплофізики, а саме критерію Грассгофа Gr і Прандтля Pr, і в широкому діапазоні значень $Gr \cdot Pr \in \lfloor 5\cdot10^2 \ldots 2\cdot10^7 \rfloor$ дорівнюють $C_1 = 0{,}54$; $m = 0{,}25$ [2].

Відведення тепла з поверхні кабелю випромінюванням описує закон Стефана-Больцмана, за яким коефіцієнт теплопередачі випромінюванням $\alpha_в$ [3]:

$$\alpha_в = \varphi \cdot \varepsilon_0 \cdot C_0 (T_п^4 - T_{oc}^4)(T_п - T_{oc}) \quad (9)$$

де C_0 – постійна Стефана-Больцмана,

$C_0 = 5{,}7\cdot10^{-8}$ Вт/(м$^2\cdot$К^4);

φ – коефіцієнт, який для окремо прокладеного в повітрі кабелю дорівнює одиниці;

ε_t – коефіцієнт чорноти, який для окремо прокладеного в повітрі кабелю в полімерній оболонці знаходиться в діапазоні від 0,8 до 0,9;

$T_п$, T_{oc} – абсолютні температури поверхні нагрітого тіла і оточуючого середовища.

Формування на основі системи рівнянь (5) системи трьох перевірених досвідом практики кабельної техніки рівнянь дає можливість визначення навантажувальної здатності кабелю у повітрі без застосування складних ітераційних процедур спільно з графічними номограмами, передбачених стандартом міжнародної електротехнічної комісії [4]:

$$\begin{cases} I = \sqrt{\dfrac{\Delta\Theta}{R\cdot\left(\sum_{i=1}^{n} S_i + \dfrac{(h\cdot\Delta\Theta_S^{\,0,25})^{-1}}{\pi\cdot d}\right)}} \\ \Delta\Theta_S = \Delta\Theta - I^2\cdot R\cdot\sum_{i=1}^{n} S_i \\ h = \left(\dfrac{c\cdot p\cdot d^3\cdot g\cdot\upsilon^{-1}\cdot\lambda^{-1}}{273+\Delta\Theta_s/2}\right)^m \cdot\dfrac{\lambda\cdot C_1}{d} + \varepsilon_1\cdot\dfrac{\phi\cdot C_0}{\Delta\Theta_S^{\,1,25}}\cdot\left[\left(\Theta_m - I^2\cdot R\cdot\sum_{i=1}^{n} S_i + 273\right)^4 - (\Theta_{oc}+273)^4\right] \end{cases} \quad (10)$$

де три параметри: I – тривало допустимий струм в жилі (номінальний): current rating equations, 100 % load factor [7]; h – коефіцієнт теплового розсіяння (Вт/м$^2\cdot$К$^{5/4}$); $\Delta\Theta_s$ – різниця температур між поверхнею кабелю і повітрям оточуючого середовища є шуканими змінними системи, оскільки визначення всіх інших параметрів системи забезпечене усталеними процедурами і перевірене досвідом використання в техніці силових кабелів. Використання наведеної системи рівнянь для практичних розрахунків можливе шляхом ітерацій.

Запропонована модель забезпечує всебічний аналіз параметрів стаціонарних теплових процесів за будь-якого струмового навантаження. Графіки на рис. 1 показують, що для аналізу динаміки нагрівання кабелю необхідно враховувати залежність різниці температур $\Delta\Theta_s$ між поверхнею кабелю і віддаленим оточуючим повітрям від струмового навантаження кабелю.

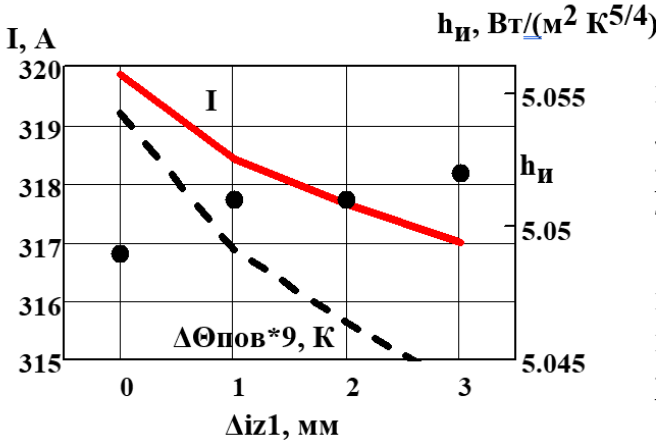

Рис.1 – До аналізу залежності допустимого струму кабелю АПвЕВнг 1×70-35 і параметрів його охолодження на відкритому повітрі від товщини шару ізоляції прилеглого до жили, який має підвищений питомий тепловий опір через підвищену температуру біля жили

Як видно з рис.1 вплив товщини шару ізоляції $\Delta iz1$ прилеглого до жили, який має підвищений питомий тепловий опір, незначний: струм зменшується відносно нульового значення (вся ізоляція має однаковий тепловий опір) в широкому діапазоні $\Delta iz1$ не перевищує 0,1 %. Це відповідає очевидному впливу збільшення теплового опору ізоляції на його навантажувальну здатність, підтверджує і

дає змогу кількісно оцінити взаємопов'язаність основних теплофізичних параметрів [6]. Також засвідчує чутливість моделі теплового балансу (10) до змін в конструкції кабелю: відповідні розрахунки за нормативною процедурою визначення допустимого струму кабелю [4] не виявили впливу товщини шару ізоляції $\Delta iz1$ прилеглого до жили, який має підвищений питомий тепловий опір.

Таким чином, запропонована модель забезпечує всебічний аналіз параметрів стаціонарних теплових процесів за будь-якого струмового навантаження і дозволяє поєднати конструктивні і теплофізичні параметри кабелю з умовами зовнішнього середовища, тобто визначати навантажувальну здатність кабелю в реальних стаціонарних режимах експлуатації.

Висновки

1. Розвиток кабельних розподільчих мереж середньої напруги спрямований на впровадження кабелів з ізоляцією зі зшитого поліетилену, які мають значні переваги перед кабелями з паперовою просоченою ізоляцією.

2. Найважливіша споживча характеристика силових кабелів – їх спроможність до навантаження та перевантаження, тобто пропускна спроможність кабелю, яка визначається процесами тепло- та масообміну в кабелі.

3. Тепловий потік від поверхні кабелю до оточуючого середовища включає в себе процеси теплопередачі через теплопровідність, конвективний теплообмін та випромінювання.

4. Проаналізовано процес теплопередачі від поверхні кабелю в оточуюче середовище

5. Було запропоновано модель, яка забезпечує всебічний аналіз параметрів стаціонарних теплових процесів за будь-якого струмового навантаження в реальних режимах експлуатації за рахунок поєднання конструктивних і теплофізичних параметрів кабелю з умовами зовнішнього середовища.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ:

1. Щебенюк Л.А., Антонець Т.Ю. До визначення пропускної спроможності високовольтних силових кабелів з пластмасовою ізоляцією // Вістник НТУ «ХПІ». – Харків: НТУ «ХПІ», 2011. – Вип.42. – С. 43–46.

2. Леонов В.М., Пешков И.Б., Рязанов И.Б., Холодный С.Д. Основы кабельной техники. М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 432 с.

3. Карпушенко В.П., Щебенюк Л.А., Антонець Ю.О., Науменко О.А. Силові кабелі низької та середньої напруги. Х.: Регіон-інформ, 2000. 376 с.

4. IEC 60287-1-1:2001 Electric cables – Calculation of the current rating- Part 1-1: Current rating equations (100 % load factor) and calculation of losses – General.

5. Electrical power cable engineering / Third Edition. Ed.by W.A. Thue. – CRC Press, 2011. – 460 p.5. Hampton N. HV and EHV cable system aging and testingissues. Chapter 3. – University System of Georgia, Institute ofTechnology NEETRAC – National Electric Energy Testing,Research and Application Center. – Georgia Tech ResearchCorporation, February 2016. – 19 p

6. Щебенюк Л.А., Антонець Т.Ю. До визначення теплового опору повітря в конкретних умовах прокладання високовольтних силових кабелів із пластмасовою ізоляцією // Вістник НТУ «ХПІ». – Харків: НТУ «ХПІ», 2016. – Вип. 3 (1175). – С. 141-149.

7. IEC 60287-2-1:2001 Electric cables - Calculation of the current rating-Part 2-1: Thermal resistance - Calculation of thermal resistance.

STUDY OF THE INFLUENCE OF THE AMOUNT OF LASER EMITTING ON THE CUTTING PROCESS OF RAW MEAT

Murashov I.,
Ph.D., Professor of the Department "Food Safety" Moscow State University of Food Production
Mirzoyan D.,
Bachelor., Moscow State University of Food Production
Kryukova E.,
Doctor of Technical Sciences, Moscow State University of Food Production
Goryacheva E.
Ph.D., Moscow State University of Food Production

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОЛИЧЕСТВА ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ПРОЦЕСС РЕЗАНИЯ МЯСНОГО СЫРЬЯ

Мурашов И.Д.,
К.т.н., Профессор кафедры «Пищевая безопасность»
Московский государственный университет пищевых производств
Мирзоян Д.Г.,
Бакалавр., Московский государственный университет пищевых производств
Горячева Е.Д.,
К.т.н., Московский государственный университет пищевых производств
Крюкова Е.В.
Д.т.н., Московский государственный университет пищевых производств
DOI: 10.24412/3453-9875-2021-54-1-59-62

Abstract

The paper investigates the physicochemical changes in meat when processing a laser beam. The changes occurring in raw meat were classified under certain emitting parameters. The influence of the characteristics of the laser beam on the quality of the cut, the depth and cutting speed is determined.

Аннотация

В работе исследованы физико-химические изменения мяса при обработке лазерным лучом. Были классифицированы происходящие изменения в мясном сырья под определенными параметрами излучения. Определено влияние характеристики лазерного луча на качество разреза, глубину и скорость резания.

Keywords: cutting animal tissue, laser emitting, energy exposure,
Ключевые слова: резка животной ткани, лазерное излучение, энергетическая экспозиция.

Почти полное отсутствие систематизированных данных, касающихся физико-химических изменений, происходящих в объектах биологического происхождения под действием интенсивного лазерного излучения, не дает возможности полноценно и рационально использовать лазерное излучение в мясной промышленности. Исходя из собственных исследований, а также согласно отдельным публикациям по данному вопросу [1, 2, 3, 4 и др.]. Было установлено, что практически объективным единственным критерием, позволяющим корректно классифицировать происходящие изменения в таких объектах, является величина энергетической экспозиции (рис. 1).

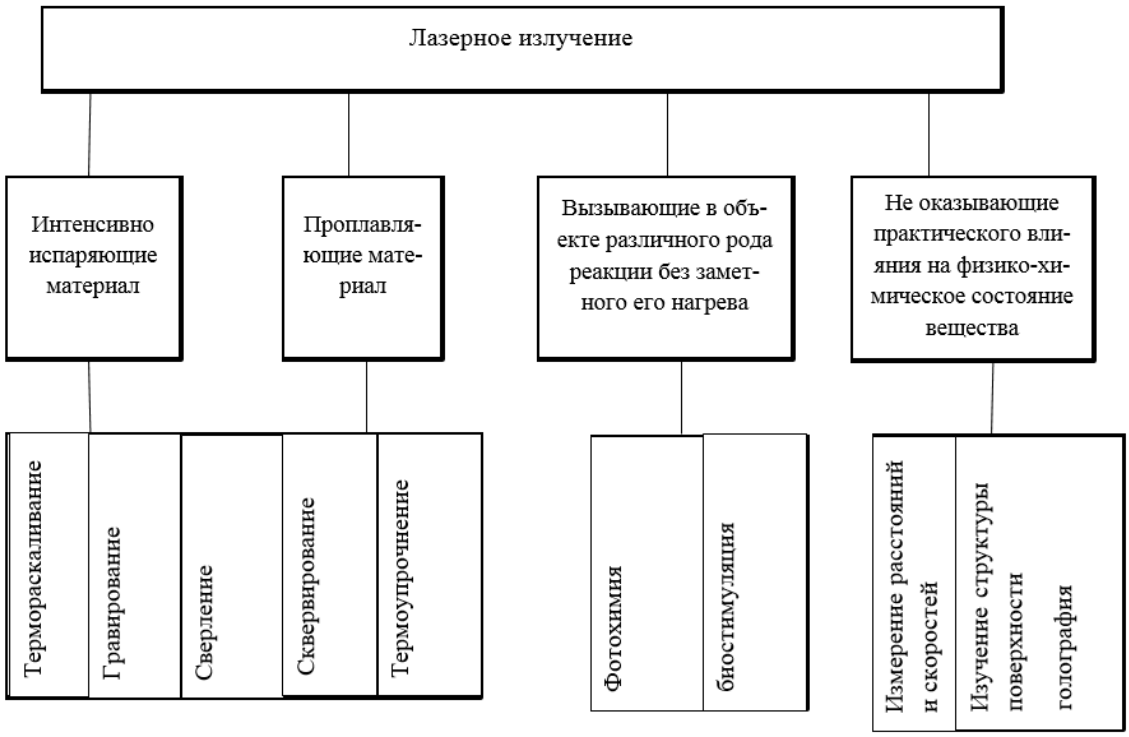

Рис. 1

Согласно такому подходу, излучение может быть классифицировано четырьмя категориями. Излучение каждой из представленных групп, воздействующее на материал объекта, вызывает в нем изменения соответствующих показателей, которые фиксируются набором стандартных методик.

Цель постановки экспериментов сводится выявлению возможности использования лазерного излучения в мясной промышленности в качестве режущего инструмента и рассмотрению возможности практического использования лазерной техники на мясокомбинатах. Внедрить в работу элементы автоматизации и по возможности обезопасить труд работников. Этим объясняется широкий набор изучаемых материалов и применение различных способов рассечения.

Экспериментальные работы по резанию мяса и мясопродуктов проводились на базе научно-исследовательского центра ИПЛИТ РАН г. Шатура с участием ОАО «Шатурский мясокомбинат». Процесс лазерной резки проводился с использованием лазерного комплекса, включающего в себя лазерный излучатель co_2 - лазера, внешнюю оптическую систему, двухкоординатный стол и систему автоматизированного управления. Мощность излучения изменялась от 0,5 до 2,5 квт, длина волны 10,6 мкм, диаметр луча 0,3 мм. Исследованию подвергались образцы мясной и костной тканей (свинина, говядина, кость). Рассечение образцов проводилось лучом, направленным под углом 90° к направлению резания.

При резке животной ткани лазерным лучом качество разреза, глубину и скорость резания оказывает влияние характеристика лазерного луча (мощность излучения, режим работы др.) И физико-химические свойства обрабатываемой ткани (плотность, содержание влаги, структура, химический состав др.).

Лазерное излучение действует площадку поверхности, размеры которой определены диаметром луча длиной пробега I за время т. Таким образом, на площадь поверхности F падает энергия Q, равная произведению мощности луча W на время его действия на данную площадку.

Длина пути, пройденного лучом, по площадке будет зависеть от скорости перемещения образца относительного луча.

$$F=1\cdot d \quad (1)$$

$$Q=W\cdot \tau \; E=Q/F=W/v\cdot d \quad (2)$$

$$1=v\cdot \tau \quad (3)$$

Таким образом, целесообразно учитывать изменения в облучаемом материале в зависимости от энергетической экспозиции, т.к. Установление зависимости изменяемых характеристик облучаемого материала от каждого показателя излучения и условий обработки в отдельности, значительно усложнит изучение материала (работы). Возможно, что данный подход (или результаты работы) справедлив для определенного интервала мощностей излучения, характеристик фокусирующей оптики, скоростей рассечения, интенсивности удаления испарений. Можно предположить, что с ростом скорости рассечения (рис. 2) и/или с увеличением интенсивности удаления испарений, учитывая, что скорость распространения теплоты в обрабатываемом материале является величиной конечной (для мясопродуктов v=10 м/с), будет происходить замедление передачи теплоты окружающим образующую полость тканям. В соответствии с этим следует ожидать сокращение затрат энергии на образование разреза единичного объема (т.е. Удельной энергии резания).

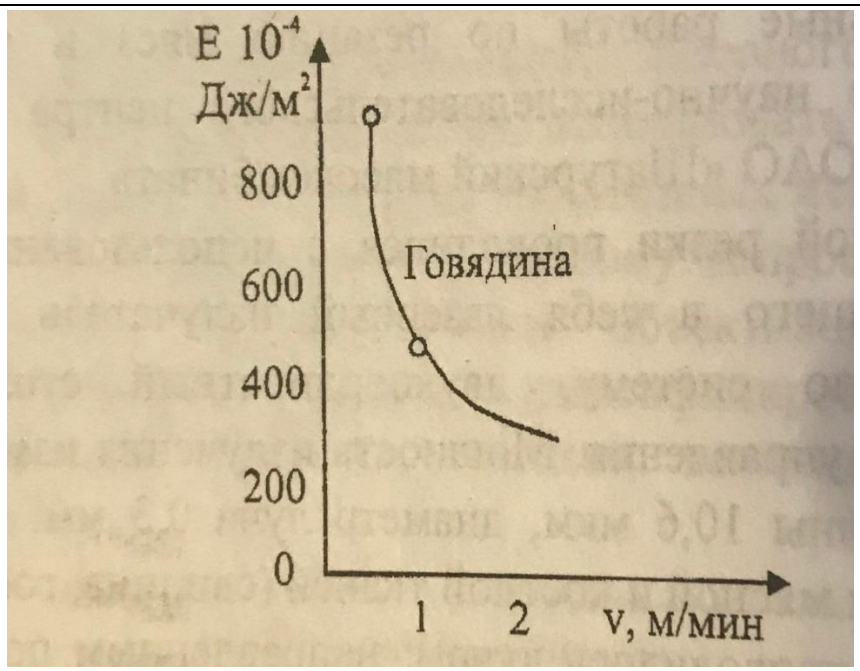

Рис. 2. График зависимости энергетической экспозиции от скорости резания

Однако из рис. 3, где изображен график зависимости глубины рассекаемых материалов животного происхождения от энергетической экспозиции, видно, что темп роста глубины рассечения с ростом Е замедляется.

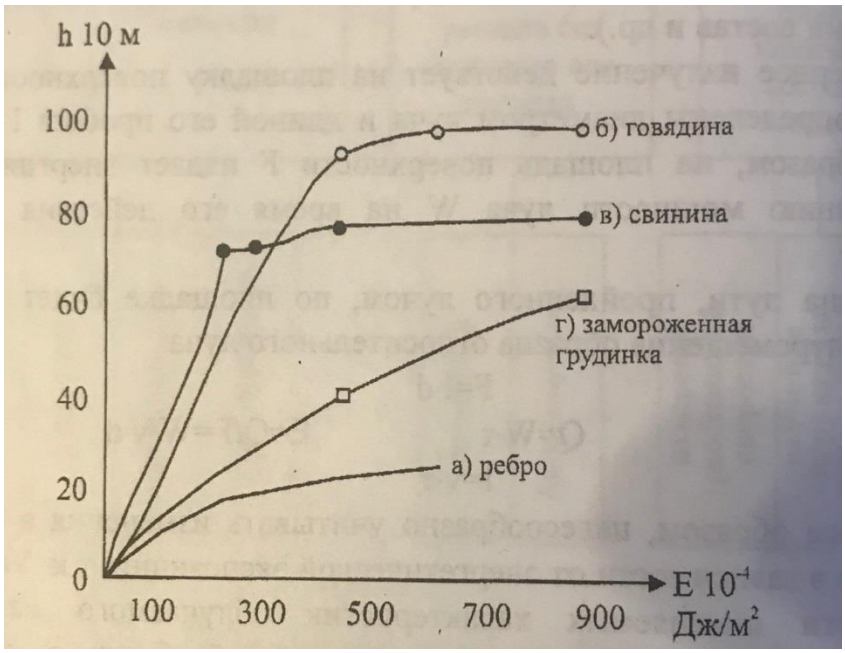

Рис.3. График зависимости глубины полости от величины энергетической экспозиции

Из графика на рис.3 следует, что удельная энергия резания – величина, зависящая от глубины рассечения, а следовательно, от скорости излучения и диаметра сфокусированного луча(рис4).

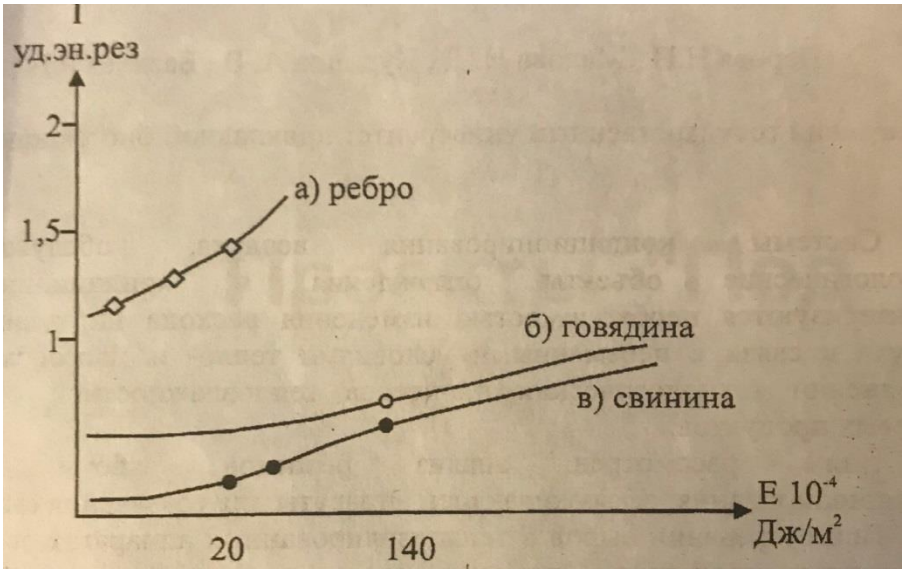

Рис .4. График зависимости удельной энергии I от энергетической экспозиции E

Из рис. 4 видно, что до некоторой величины E роста удельной энергии резания почти не наблюдается, ее можно считать постоянной до достижения определенной глубины рассечения.

Геометрические параметры разреза, ширина оны термического влияния на стенки разреза в значительной степени различается среди изучаемых тканей при воздействии на их поверхность эквивалентного их удельной энергии резания значения энергетической экспозиции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Гамалея Н.Ф. Лазеры в эксперименте. - М.: Медицина, 1972 - 232 с.
2. Лазеры в клинической медицине /Н.Д. Девятков, В.П. Беляев; Под редакцией С.Д. Плетнева - М.: Медицина, 1981 - 399 с.
3. Baraes f. Biological damage resulting from thermal pulses//Laser applications in medicine and biology. - New York, 1974 - v.2. - p. 205-221
4. Файн С., Клейн Э. Биологическое действие излучения лазера /Пер. О.М. Арутюнова и др.; под ред. В.Н. Стиксовой - М.: Атомиздат, 1968 - 10-с.40

FAULTS OF ASYNCHRONOUS GENERATORS AUTONOMOUS WIND-SOLAR POWER PLANTS

Sobol A.N.,
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, FSBEI HE Kuban SAU, Krasnodar
Andreeva A.A.
Student of the Faculty of Energy, FSBEI HE Kuban SAU, Krasnodar

НЕИСПРАВНОСТИ АСИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ АВТОНОМНЫХ ВЕТРО-СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Соболь А.Н.,
Кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ, Краснодар
Андреева А.А.
Студентка факультета Энергетики, ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ, Краснодар
DOI: 10.24412/3453-9875-2021-54-1-62-64

Abstract

The problem of operating autonomous wind-solar power plants is associated with possible malfunctions of autonomous asynchronous wind turbine generators. The most common faults are short-circuited windings. Having a small number of them (no more than 5%), the generator continues its work. In this case, overheating of the windings is observed, which can cause the failure of the electrical machine, the occurrence of fire and, at the end, the disruption of the power supply system as a whole. It is necessary to diagnose these types of malfunctions, that is, to obtain relevant information about the parameters of the generator currents and voltages.

Аннотация

Проблема эксплуатации автономных ветро-солнечных электростанций, связанна с возможными неисправностями автономных асинхронных генераторов ветроустановки. Самыми распространенными неисправностями являются замкнутые на коротко витки обмотки. Имея небольшое их количество (не более 5 %), генератор продолжает свою работу. При этом наблюдается перегрев обмоток, что может послужить

причиной выхода из строя электрической машины, возникновения возгорания и, на конец, нарушения системы электроснабжения в целом. Необходимо диагностировать данные виды неисправностей, то есть получить соответствующей информации об параметрах токов и напряжений генератора.

Keywords: operation, malfunction, wind-solar power plant, turn circuits, stator winding, autonomous asynchronous generator, power supply.

Ключевые слова: эксплуатация, неисправность, ветро-солнечная электростанция, витковые замыкания, обмотка статора, автономный асинхронный генератор, электроснабжение.

В большинстве районов приход солнечной радиации и наличие ветра находятся в противофазе (т.е. когда светит яркое солнце, обычно нет ветра, а если дует сильный ветер, то солнца нет). Поэтому для обеспечения бесперебойного электроснабжения автономного объекта во многих случаях целесообразно использование гибридной ветросолнечной электростанции.

Как указано в [1], по сей день все еще актуальным остается вопрос использования автономных асинхронных генераторов (ААГ) с емкостным возбуждением в ветроэлектрических установках.

Ветрогенераторы используют либо для зарядки аккумуляторов, либо как не единственные в системе, т.е. перегрузок в системе с ветрогенераторами быть не должно, поэтому и используются простые, эффективные и надёжные асинхронные генераторы. В других системах часто нет буферов (аккумуляторов) поэтому вероятность возникновения перегрузок достаточно высока, что и не даёт использовать асинхронные генераторы.

Асинхронные генераторы также подвержены различным техническим недостаткам как, например, нестабильностью напряжения. Кроме того, как отмечено в [2], существует еще одна возможная техническая проблема эксплуатации данного вида генераторов, связанная с возможными повреждениями в его обмотках. Так, в короткозамкнутой обмотке ротора возможно наличие поврежденных стержней. Данный вид повреждения называется обрывом стержня и может возникать из-за различных причин, например, из-за перегрева генератора.

В обмотке же статора, что описано в [2], также возможно возникновение различных повреждений. Среди данных неисправностей самыми распространенными являются замкнутые на коротко витки обмотки. Имея небольшое их количество (не более 5 %), генератор продолжает свою работу. При этом наблюдается перегрев обмоток, что может послужить причиной выхода из строя электрической машины, возникновения возгорания и, на конец, нарушения системы электроснабжения в целом. Это все обуславливает необходимость диагностирования данных видов неисправностей, то есть получения соответствующей информации об изменении токов и напряжений генератора. Зная соответствующую информацию, можно диагностировать данный вид нарушения нормальной работы генератора на ранней стадии и, соответственно, вовремя устранить конкретную неисправность. Кроме того, этот момент приобретает особую важность в свете того, что при выходе из строя электроустановки с генератором, мы получаем соответствующий технологический ущерб.

Для асинхронных электродвигателей были проведены исследования токов при внутренних повреждениях экспериментально и моделированием. В создании устройств релейной защиты асинхронных генераторов трудность заключается в том, что пока мало исследованы процессы при внутренних коротких замыканиях (КЗ) в обмотке статора генератора и не определены информативные параметры или признаки, характеризующие соответствующие повреждения [1].

Для эксперимента была подготовлена установка с асинхронным генератором, выполненная на базе асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором типа 4А100S4У3 (3 кВт, 1435 об/мин) [1]. Схема установки изображена на рисунке 1.

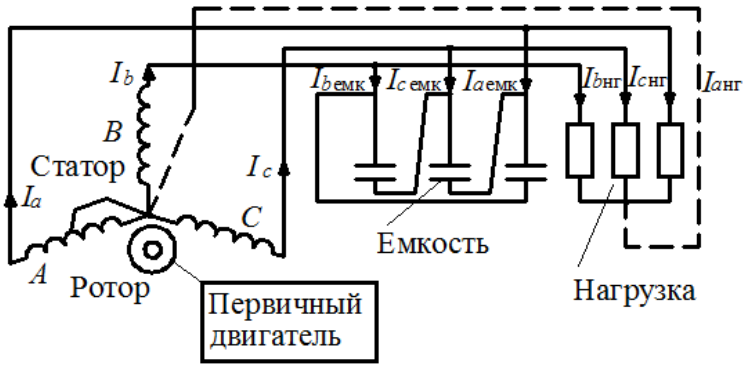

Рис. 1. Схема экспериментальной установки

При использовании автономного асинхронного генератора его привод может иметь различную механическую характеристику. Характеристика может быть «жесткой», когда число оборотов практически не зависит от нагрузки, и «мягкой», при существенной зависимости числа оборотов привода от его нагрузки.

В эксперименте асинхронный генератор приводился во вращение двигателем постоянного тока

(привод генератора с «мягкой» механической характеристикой, индекс «2»,) или асинхронным двигателем (привод генератора с «жесткой» механической характеристикой, индекс «1»). Мощность приводных двигателей была соизмерима с мощность асинхронного генератора. Напряжение генератора на момент замыкания поддерживалось равным 220 В.

Искусственные замыкания между различными витками в фазных обмотках автономного асинхронного генератора создавались с помощью специальных, предварительно выведенных наружу из лобовой части обмотки статора, выводов.

Опыты показали, что при витковых и междуфазных КЗ в обмотке статора и малом числе замкнувшихся витков генератор не теряет возбуждения, а ток в короткозамкнутой части обмотки увеличивается в 5-10 раз по сравнению с номинальным. Генератор теряет возбуждение только при 15–30 % замкнутых витков в зависимости от нагрузки и величины емкости возбуждения.

На рисунке 2 показаны кривые изменения токов КЗ ААГ с приводами, имеющими «мягкую» и «жесткую» характеристики в зависимости от процентного соотношения числа замкнутых витков к числу витков в фазе (*W*, %)

$$W = W_k / W_0 \, \%, \qquad (1)$$

где W_k – число замкнутых витков;

W_0 – число витков в фазе.

Из данных эксперимента видно, что вне зависимости от вида привода ток в замкнутых витках уменьшается при их увеличении. Уменьшение тока при малом числе замкнувшихся витков обусловлено влиянием сопротивления проводника закорачивающего витки.

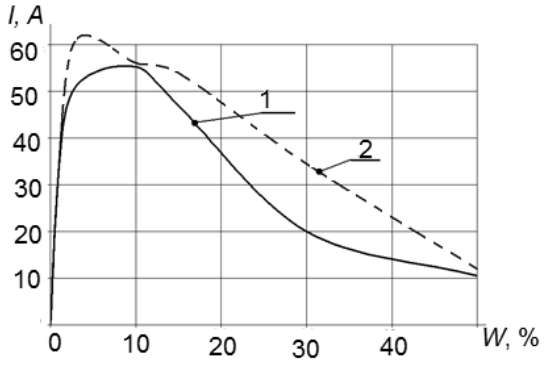

Рис. 2. Кривые изменения токов КЗ витков ААГ: 1 – привод с «жесткой» характеристикой; 2 – привод с «мягкой» характеристикой

Таким образом, в результате экспериментальных исследований установлено, что при наличии в статорной обмотке автономного асинхронного генератора 3 – 15 % короткозамкнутых витков он не теряет возбуждения и продолжает питать нагрузку. При этом ток в КЗ витках превышает номинальный в 4 – 7 раз. Поэтому для асинхронных генераторов для безопасной эксплуатации асинхронных генераторов в гибридных энергоустановках, они должны иметь надежную защиту от различных неисправностей, возникающих в их обмотках.

Из данных эксперимента видно, что вне зависимости от вида привода ток в замкнутых витках уменьшается при их увеличении. Уменьшение тока при малом числе замкнувшихся витков обусловлено влиянием сопротивления проводника закорачивающего витки.

Таким образом, в результате экспериментальных исследований установлено, что при наличии в статорной обмотке автономного асинхронного генератора 3 – 15 % короткозамкнутых витков он не теряет возбуждения и продолжает питать нагрузку. При этом ток в КЗ витках превышает номинальный в 4 – 7 раз. Поэтому для асинхронных генераторов для безопасной эксплуатации асинхронных генераторов в гибридных энергоустановках, они должны иметь надежную защиту от различных неисправностей, возникающих в их обмотках.

В настоящее время имеется возможность использования устройств защиты, реагирующих на несимметрию магнитного поля внутри генератора в случае виткового КЗ в статорной обмотке (при размещении кольца, охваченного ферромагнитным сердечником, внутри электрической машины) [2].

Возможно построение других защит, например, реагирующих на вибрацию корпуса генератора в случае повреждения обмотки статора или роторной обмотки. В качестве чувствительного устройства защиты, позволяющего определять и витковые замыкания обмоток статора автономного асинхронного генератора, имеется возможность использовать устройство, основанное на использовании датчика вибрации, который крепится на корпус генератора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Баракин Н.С. Асинхронный генератор с автотрансформаторной обмоткой статора / Н.С. Баракин, А.Н. Соболь, А.А. Кумейко // Сельский механизатор, 2018. - № 7-8. - С. 48 – 49.

2. Богдан А.В. Обнаружение виткового замыкания в обмотке статора асинхронного генератора / А.В. Богдан, А.Н. Соболь, Н.С. Баракин // Сельский механизатор, 2018. – № 7-8. - С. 44 – 45.

№54/2021

Norwegian Journal of development of the International Science

ISSN 3453-9875

VOL.1

It was established in November 2016 with support from the Norwegian Academy of Science.

DESCRIPTION

The Scientific journal "Norwegian Journal of development of the International Science" is issued 24 times a year and is a scientific publication on topical problems of science.

Editor in chief – Karin Kristiansen (University of Oslo, Norway)

The assistant of theeditor in chief – Olof Hansen

- James Smith (University of Birmingham, UK)
- Kristian Nilsen (University Centre in Svalbard, Norway)
- Arne Jensen (Norwegian University of Science and Technology, Norway)
- Sander Svein (University of Tromsø, Norway)
- Lena Meyer (University of Gothenburg, Sweden)
- Hans Rasmussen (University of Southern Denmark, Denmark)
- Chantal Girard (ESC Rennes School of Business, France)
- Ann Claes (University of Groningen, Netherlands)
- Ingrid Karlsen (University of Oslo, Norway)
- Terje Gruterson (Norwegian Institute of Public Health, Norway)
- Sander Langfjord (University Hospital, Norway)
- Fredrik Mardosas (Oslo and Akershus University College, Norway)
- Emil Berger (Ministry of Agriculture and Food, Norway)
- Sofie Olsen (BioFokus, Norway)
- Rolf Ulrich Becker (University of Duisburg-Essen, Germany)
- Lutz Jäncke (University of Zürich, Switzerland)
- Elizabeth Davies (University of Glasgow, UK)
- Chan Jiang(Peking University, China) and other independent experts

1000 copies

Norwegian Journal of development of the International Science

Iduns gate 4A, 0178, Oslo, Norway

email: publish@njd-iscience.com

site: http://www.njd-iscience.com