



# Biogeosystem Technique

Journal is being issued since 2014. ISSN 2409-3386, E-ISSN 2413-7316  
2015. Vol.(5). Is. 3. Issued 4 times a year

## EDITORIAL STAFF

**Dr. Kalinichenko Valery** – Institute of Soil Fertility of South Russia, Persianovsky, Russian Federation (Editor-in-Chief)

## EDITORIAL BOARD

**Dr. Blagodatskaya Evgeniya** – Institute of Physical Chemical and Biological Problems of Soil Science of the Russian Academy of Sciences, Pushchino, Russian Federation

**Dr. Elizbarashvili Elizbar** – Iakob Gogebashvili Telavi State University, Telavi, Georgia

**Dr. Glazko Valery** – Moscow agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, Russian Federation

**Dr. Lisetsky Fedor** – Belgorod State University, Russian Federation

**Dr. Minkina Tatiana** – Southern Federal University, Russian Federation

**Dr. Okolelova Alla** – Volgograd State Technical University, Russian Federation

**Dr. Shein Evgeny** – Moscow State University named M.V. Lomonosov, Russian Federation

**Dr. Surai Peter** - Feed-Food.ltd, Scotland, UK

The journal is registered by Federal Service for Supervision of Mass Media, Communications and Protection of Cultural Heritage (Russian Federation).

Journal is indexed by: **Cross Ref** (USA), **Electronic scientific library** (Russia), **Open Academic Journals Index** (Russia), **CiteFactor – Directory of International Research Journals** (Canada), **Universal Impact Factor** (Australia).

All manuscripts are peer reviewed by experts in the respective field. Authors of the manuscripts bear responsibility for their content, credibility and reliability.

Editorial board doesn't expect the manuscripts' authors to always agree with its opinion.

Postal Address: 26/2 Konstitutsii, Office 6  
354000 Sochi, Russian Federation

Website: <http://ejournal19.com/en/index.html>  
E-mail: [evr2010@rambler.ru](mailto:evr2010@rambler.ru)

Founder and Editor: Academic Publishing  
House *Researcher*

Passed for printing 15.09.15.

Format 21 × 29,7/4.

Enamel-paper. Print screen.

Headset Georgia.

Yeh. Izd. l. 5,1. Ysl. pech. l. 5,8.

Order № B-5.

**Biogeosystem Technique**

2015

Is. 3



Издается с 2014 г. ISSN 2409-3386, E-ISSN 2413-7316  
2015. № 3 (5). Выходит 4 раза в год.

#### РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

**Валерий Калиниченко** – Институт плодородия почв юга России, Персиановский, Персиановский, Российская Федерация (Гл. редактор)

#### РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

**Благодатская Евгения** – Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Пущино, Российская Федерация

**Глазко Валерий** – МСХА имени К.А. Тимирязева, Российская Федерация

**Лицецкий Федор** – Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Российская Федерация

**Минкина Татьяна** – Южный федеральный университет, Российская Федерация

**Околелова Алла** – Волгоградский государственный технический университет, Российская Федерация

**Сурай Петр** – компания Фит-фуд лтд., Скотланд, Соединенное Королевство

**Шени Евгений** – МГУ имени Ломоносова, Российская Федерация

**Элизбарашвили Элизбар** – Телавский государственный университет, Телави, Грузия

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере массовых коммуникаций, связи и охраны культурного наследия (Российская Федерация).

Журнал индексируется в: **Cross Ref** (США), **Научная электронная библиотека** (Россия), **Open Academic Journals Index** (Россия), **CiteFactor – Directory of International Reseach Journals** (Канада), **Universal Impact Factor** (Австралия).

Статьи, поступившие в редакцию, рецензируются. За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы публикаций.

Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов материалов.

Адрес редакции: 354000, Россия, г. Сочи,  
ул. Конституции, д. 26/2, оф. 6  
Сайт журнала: <http://ejournal19.com/>  
E-mail: [evr2010@rambler.ru](mailto:evr2010@rambler.ru)

Учредитель и издатель: ООО «Научный  
издательский дом "Исследователь"» - Academic  
Publishing House *Researcher*

Подписано в печать 15.09.15.

Формат 21 × 29,7/4.

Бумага офсетная.

Печать трафаретная.

Гарнитура Georgia.

Уч.-изд. л. 5,1. Усл. печ. л. 5,8.

Заказ № В-5.

C O N T E N T S

**Relevant Topic**

The Value of Scientific and Agronomic Heritage of D.N. Pryanishnikov in the Development of Agriculture in Russia Vladimir G. Loshakov .....	212
---	-----

**The Science and the Problems of Development**

Soil Structural Stability and Erosion in a Semi-arid Agro-ecosystem A.I. Mamedov, G.J. Levy, C. Huang .....	232
--	-----

**Articles and Statements**

Multilocus Genotyping of Cattle Using Highly Polymorphic Genomic Elements (Microsatellites, DNA Transposon Helitron) Anna V. Babii, Svetlana N. Kovalchuk, Tatiana T. Glazko, Gleb Yu. Kosovskii, Valery I. Glazko .....	243
---	-----

Evolutionary Semantics of Anthropogenesis and Bioethics of Nbic-Technologies Valentin T. Cheshko, Yulia V. Kosova, Valery I. Glazko .....	256
--	-----

Ion's Association in Soil Solution among the Drivers of Biogeosystem Dynamics Anatoly P. Endovitsky, Angrey G. Andreev, Taniana M. Minkina, Valery P. Kalinichenko .....	267
--	-----

Chitosan as a Detoxicant for Oil Contaminated Soils and Its Transformations N.G. Kasterina, A.A. Okolelova .....	286
---	-----

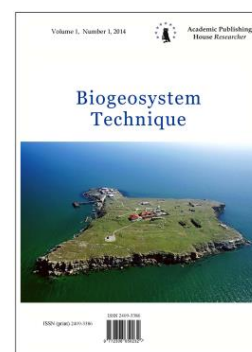
Use of Monodisperse Anthropogenic Aerosols is a New Resource Saving Scientific and Technical Line of Development Michael S. Sokolov, Jury M. Veretennikov, Valery G. Ostrovsky, Igor Ja. Paremsky, Jury Ja. Spiridonov, Leonid A. Marchenko, Alla V. Ovsyankina, Viktor G. Selivanov .....	298
---	-----

Copyright © 2015 by Academic Publishing House *Researcher*



Published in the Russian Federation  
Biogeosystem Technique  
Has been issued since 2014.  
ISSN: 2409-3386  
E-ISSN: 2413-7316  
Vol. 5, Is. 3, pp. 212-231, 2015

DOI: 10.13187/bgt.2015.5.212  
[www.ejournal19.com](http://www.ejournal19.com)



### Relevant Topic

UDC 631,528

The 150th anniversary of D.N. Pryanishnikov

### The Value of Scientific and Agronomic Heritage of D.N. Pryanishnikov in the Development of Agriculture in Russia

Vladimir G. Loshakov

Institute of Agricultural Chemistry named after D.N. Pryanishnikov, Russian Federation  
Dr (Agriculture) Professor, Chief Scientist employee  
E-mail: LVG36@yandex.ru

**Abstract.** The article highlights the role of D.N. Pryanishnikov in the development of agronomic research in our country, a great contribution to the development of the theory and practice of agriculture and crop production. Are considered the philosophical significance of scientific and educational, journalistic and public activities of D.N. Pryanishnikov as a scientist-agronomist, the scientist-thinker of a global scale, fighter for scientific and technological progress in agriculture, against anti-scientific views and template approach in solving scientific and agronomic problems.

His role is demonstrated in solving the challenges of practical agriculture of national economic importance in the scale of the country and the world. It is the development and promotion of advanced agricultural technologies, crop rotation theory, implementations in practice of domestic agriculture; scientifically substantiated criticism of Malthusianism and the development of prospects for domestic agriculture through comprehensive application of chemicals. He's struggled against the formulaic widespread planting of grassland farming systems as a "panacea"; scientific justification of the crop rotation theory; solution to the problem of nitrogen nutrition of plants, biological and chemical sources of nitrogen; prognostic decisions and plans of biologization and chemicalization of agriculture. With the name and activity of D.N. Pryanishnikov is associated a creation of agrochemical service in the country; development of the domestic nitrogen fertilizer industry; development and rational use of domestic deposits of phosphate, potash, lime materials, peat, ash and other both industrial and local fertilizer.

The results are presented of years of research of scientists – students and followers of D.N. Pryanishnikov, dedicated to the study and introduction of crop rotation and farm agriculture systems, green manuring, grain specialization and biologization of farming of Nonchernozem zone, the implementation of many ideas of the outstanding teacher. An example of Nonchernozem zone shows the scale of D.N. Pryanishnikov thinking, his talent of researchers and scientists – the organizer, able to successfully solve scientific problems of agronomy and economic problems in the regions and across the country. Are described the citizen and patriotic qualities of the person, the courage of D.N. Pryanishnikov, he will to protect the scientific truth, colleagues – scientists who

have been unjustified in repression of 30-40 years of the XX century. The close connection is shown of D.N. Pryanishnikov ideas to modernity, the significance of his great heritage for the further development of promising areas of science.

**Keywords:** agronomy, agricultural chemistry, crop production, biological nitrogen, clover, lupine, perennial grasses, green manuring, fertilization, catch crops, crop rotation, farming system, soil fertility, crop.

### **Введение**

В преддверии 150-летия со дня рождения академика Д.Н. Прянишникова мы вновь и вновь обращаемся к богатейшему научному наследию этого выдающегося ученого – агронома, основоположника отечественной агрохимии, биохимика и физиолога растений [31].

На формирование научного мировоззрения Д.Н. Прянишникова оказали большое влияние выдающиеся представители российской науки, профессора Московского университета и Петровской земледельческой и лесной академии: А.Г. Столетов, К.А. Тимирязев, В.В. Марковников, И.Н. Горожанкин, И.А. Стебут, Г.Г. Густавсон, А.Ф. Фортунатов и другие. Его выпускное сочинение в МГУ было посвящено трудам основоположников отечественного почвоведения В.В. Докучаева и П.А. Костычева.



*Рис. 1. Д.Н. Прянишников*

Д.Н. Прянишников стал достойным продолжателем дела своих именитых учителей. Его научное наследство огромно и не потеряло своего значения в настоящее время. Им опубликовано свыше 550 научных работ, среди которых – десятки научных монографий, учебников и сотни научных статей, служебных записок, научно-популярных и других публикаций по научной агрономии.

Д.Н. Прянишников был патриотом своей Родины, и вся его многолетняя и плодотворная научно-педагогическая и общественная деятельность была пронизана идеями служения своему народу, борьбы за научно-технический прогресс в земледелии, против антинаучных воззрений в решении как научно-агрономических проблем, так и задач практического земледелия, имеющих народно-хозяйственное значение.

Трудно переоценить роль Д.Н. Прянишникова в развитии многих направлений отечественной агрономии, его огромное положительное влияние в прошлом столетии на развитие многих отраслей народного хозяйства, связанных с аграрным сектором нашей страны. Велико и международное значение Д.Н. Прянишникова как ученого с мировым именем, мыслившего планетарными категориями на уровне биосферы.

В нашей стране научный и трудовой подвиг Д.Н. Прянишникова – ученого и гражданина получил широкое народное признание и высокую оценку Советского правительства. В 1926 году ему в числе первых советских ученых была присуждена премия имени В. И. Ленина, а в 1941 г он был удостоен Государственной премии первой степени. В 1929 г. Д.Н. Прянишников был избран академиком Академии наук СССР, а в 1935 г. утвержден академиком Всесоюзной академии сельскохозяйственных наук имени В.И. Ленина.

Д.Н. Прянишников был награжден двумя орденами Ленина, тремя орденами Трудового Красного Знамени и орденом Отечественной войны первой степени. В 1945 г. ему было присвоено высокое звание Героя Социалистического Труда.

Выдающаяся научная деятельность, международное сотрудничество с зарубежными учеными Д.Н. Прянишникова получила широкое признание за рубежом – он был избран почетным членом Германской академии естествоиспытателей «Леопольдина» (1927), Шведской королевской академии сельского и лесного хозяйства (1913), Чехословацкой сельскохозяйственной академии (1927), членом-корреспондентом Парижской АН (1946), членом Нидерландского (1935) и Немецкого (1933) ботанических обществ

#### **Д.Н. Прянишников – выдающийся ученый-агрохимик**

Д.Н. Прянишников впервые установил закономерности процессов усвоения азота растениями, оценил роль соединений этого «элемента жизни», направленность их превращения и условия, при которых происходит формирование урожая. К ним относятся, прежде всего, теоретические открытия в области изучения особенностей усвоения растениями аммония и нитратов, решение проблемы азотного питания растений, которые нашли практическое применение – при производстве азотных удобрений предпочтение отдают аммиачной селитре, как наиболее эффективному удобрению [5]. За свой классический труд – монографию «Азот в жизни растений и в земледелии СССР» Президиум Академии наук СССР присудил в 1946 году Д.Н. Прянишникову премию имени К.А.Тимирязева.

Обширные исследования под руководством Д.Н. Прянишникова проведены по российским месторождениям фосфатов и калия. В результате были предложены новые формы простых и сложных удобрений и дана их агрономическая оценка, что послужило стимулом к созданию отечественной туковой промышленности и разработке планов химизации земледелия страны. Д.Н. Прянишников определил главную задачу агрономической химии как «изучение круговорота элементов в земледелии и выявление тех мер воздействия на химические процессы, протекающие в растениях, которые могут повышать урожай или изменять его состав» [5].

Именно так Дмитрий Николаевич рассматривал применение минеральных и органических удобрений, а также возделывание бобовых и сидеральных культур, использования торфа, биологических отходов, известковых материалов, золы и других местных удобрений как источников элементов минерального питания растений.

Активный поиск Д.Н. Прянишниковым источников биологического и химического азота; прогностические решения и планы по биологизации и химизации земледелия, по развитию отечественной азотно-туковой промышленности; по разработке месторождений и

рациональному использованию отечественных фосфоритов, калийных солей, по созданию Географической сети опытов с удобрениями и агрохимической службы являются крупным вкладом Д.Н. Прянишникова в агрохимическую науку и сыграли большую роль в химизации земледелия нашей страны, в повышении урожайности сельскохозяйственных культур [5, 7, 9, 11, 19, 27, 33, 39].

### **Ученый агроном и талантливый педагог**

Д.Н. Прянишников был не только основателем отечественной агрохимии, крупным биохимиком, физиологом растений, но и основоположником отечественной агрономической науки в самом широком смысле этого слова. Сотни научных трудов Д.Н. Прянишникова были посвящены самым различным вопросам общего и частного земледелия, многие из них не утратили своей актуальности и в наше время [8, 9, 11, 15, 24, 26, 27].

К сожалению, об этом иногда забывают и часто пишут о Д.Н. Прянишникове лишь как о выдающемся агрохимике, не раскрывая его большой и многогранной научной деятельности в области других агрономических наук. Тем самым невольно умаляется роль и значение этого выдающегося ученого – агронома в развитии других направлений научной агрономии и практического земледелия.

Разносторонняя и необычайно плодотворная деятельность академика Д.Н. Прянишникова – ученого с энциклопедическими знаниями – оказала огромное влияние на развитие не только агрохимической науки, но и других агрономических наук, и, прежде всего, земледелия – как общего, так и частного (растениеводства)

Достаточно вспомнить, что Д.Н. Прянишников в течение 33 лет возглавлял в Московском сельскохозяйственном институте – потом Тимирязевской академии – кафедру частного земледелия (растениеводства). Как ученый-агроном и по долгу своей службы, и по призванию, он постоянно занимался разработкой научно-теоретических основ научной агрономии и внедрением их в учебный процесс, в практику земледелия.

Уже с первых лет своей научно-педагогической деятельности в стенах Московского сельскохозяйственного института Д.Н. Прянишников уделял большое внимание изучению и разработке агротехники возделывания полевых культур. Более 30 лет он читал основной курс частного земледелия, который он постоянно совершенствовал и обогащал все новыми и новыми знаниями по теории и практике как частного, так и общего земледелия.

Творчески развивая научное наследие своего учителя профессора И.А. Стебута, Д.Н. Прянишников написал и в 1898 году выпустил первое издание своего учебника «Частное земледелие». Этот учебник выдержал восемь изданий (последнее вышло в 1931 году), переведен на иностранные языки, и сыграл большую роль в подготовке многих поколений агрономов как в нашей стране, так и за рубежом.

Учебник Д.Н. Прянишникова «Частное земледелие» содержал обширный справочный материал по биологии и технологии возделывания полевых культур. В этом учебнике Д.Н. Прянишников разработал и дал новую, более совершенную классификацию полевых культур, основные элементы которой сохранились и не утратили своего значения и для современного растениеводства.

Каждое очередное издание учебника «Частное земледелие» выходило обогащенное новым научным и производственным фактологическим материалом по всем полевым культурам.

Это были не только результаты оригинальных исследований Д.Н. Прянишникова в полевых и вегетационных опытах с зерновыми, техническими, кормовыми и другими полевыми культурами, но и богатый экспериментальный материал отечественных и зарубежных научных учреждений, передовой производственный опыт в области агрономии.

С целью изучения нового и прогрессивного в теории и практике земледелия Д.Н. Прянишников совершил за свою жизнь более 50 поездок, побывав во многих регионах своей страны и за рубежом.

Характерной чертой Д.Н. Прянишникова было то, что, бывая за границей в той или иной стране, он всегда обстоятельно и критически оценивал состояние ее экономики, сельского хозяйства – сколько приходится земли на 1 жителя, какова урожайность, каков уровень жизни на селе и в городе, характер миграции сельского населения, где дешевле



цены на удобрения или на хлеб и т.д.. На примере Германии он хорошо понимал, что уровень производства азотных и фосфорных удобрений определяет военный потенциал страны [31].

Уже в преклонные годы – в 67 лет Д.Н. Прянишников проделал железнодорожное путешествие протяженностью 17 тыс. км, побывав на Кольском полуострове, в Свердловской, Новосибирской областях, на Сицилии и в Таджикистане, и везде пылливо знакомясь с состоянием и перспективами развития местного земледелия [11].

Но самым главным достоинством учебника «Частное земледелие» было теоретическое обоснование приемов возделывания сельскохозяйственных культур, исходя из их биологических особенностей. Эту основу построения учебника сам Д.Н. Прянишников отметил в предисловии к нему, указав, что «задача частного земледелия состоит преимущественно в согласовании приемов культуры с особенностями в требованиях отдельных растений» [26].

Знакомясь с содержанием последних изданий учебника Д.Н. Прянишникова «Частное земледелие», поражаешься современному звучанию и актуальности тех вопросов, которые излагает автор в учебнике 80-летней давности.

Можно с уверенностью сказать, что при некотором обновлении и добавлении его содержания с учетом последних достижений науки и техники в области растениеводства учебник Д.Н. Прянишникова можно было бы и сейчас использовать как основной при изучении этой дисциплины в сельскохозяйственных учебных заведениях нашей страны.

Другой учебник академика Д.Н. Прянишникова «Учение об удобрении» в течение многих лет фактически являлся основным учебным руководством по агрохимии и для студентов и для практических работников сельского хозяйства [23]. Третье издание этого учебника под названием «Агрохимия» в 1940 году было удостоено Государственной премии.

Обладая энциклопедическими знаниями, острым умом и хорошей памятью, Д.Н. Прянишников был прекрасным лектором и популяризатором научных знаний. Он хорошо владел словом и пером, и, следуя завету своего учителя К.А. Тимирязева «Работать для науки и писать для народа», тщательно готовился к своим публичным выступлениям.

В третьем томе избранных сочинений Д.Н. Прянишникова (1965) опубликованы стенограммы 21 лекций по курсу «Введение в агрономию», которые Дмитрий Николаевич читал первокурсникам всех факультетов Тимирязевки в военном 1943-1944 учебном году, когда он только вернулся из Средней Азии, где вместе со всем профессорско-преподавательским коллективом академии был в эвакуации.

На вводных лекциях в течение двух семестров Д.Н. Прянишников занимательно излагал студентам историю развития агрономии со времен древних Греции и Рима до середины XX века. Стенограммы этих лекций, выправленные самим Д.Н. Прянишниковым, являются образцом популяризации агрономических знаний. Понимая, что в аудитории сидят вчерашние школьники, Д.Н. Прянишников на вводных лекциях простым и образным языком увлекал своих слушателей в мир агрономических знаний.

С таким же мастерством он в этих лекциях описывает историю развития сельскохозяйственного образования, в том числе и историю Петровской земледельческой и лесной академии. Здесь же Д.Н. Прянишников дает яркий образ своего учителя К.А. Тимирязева как ученого, человека и гражданина. Простой, но острополюемический характер повествования – беседа захватывает читателя, и трудно оторваться от текста, чтение которого доставляет большое удовольствие. Так писали классики отечественной агрономии.

Многочисленные труды и публичные выступления Д.Н. Прянишникова свидетельствуют о том, что его научные интересы как ученого-агронома выходили далеко за рамки вопросов частного земледелия.

### **За химизацию земледелия, против травополя**

В 1925 г. Д.Н. Прянишников выступил с речью «Мальтус и Россия». Анализируя перспективы продовольственного баланса России, он говорил, что с помощью введения пропашных культур, клевера и *минеральных удобрений* (курсив наш – Авт.) мы можем поднять производство хлеба (и картофеля в пересчете на хлеб), идущего в пищу людям, в 8 раз, и «..это означает, что еще на 150 лет вперед Россия может не думать о недостатке



средств продовольствия, если она даже будет удваивать население через каждые 50 лет» [27, т. III, с. 214].

Остановившись на теории полного возврата Либиха, Д.Н. Прянишников писал, что когда мы делаем подсчет выноса питательных веществ будущими урожаями и соответствующих размеров возмещения его, то это отнюдь не значит, что мы должны слепо следовать тезису Либиха о полном возврате всего взятого у почвы. Теперь известно несколько больше, чем было известно Либиху 100 лет назад, и нам не для чего руководствоваться априорными соображениями 1840 г. К нашим услугам весь последующий опыт Западной Европы, показавший, что поднятие урожаев до высоты 20-25 ц с гектара вполне совместимо с известным дефицитом азота и калия [27].

Пропагандируя клеверосеяние и плодосменную систему земледелия, Д.Н. Прянишников в то же время решительно выступал против шаблонного и повсеместного использования полевого травосеяния как «панацеи от всех бед» [24]. В своих научных трудах и публицистических выступлениях он боролся с попытками сторонников травопольной системы земледелия подменить ею реальные программы повышения плодородия почвы с помощью удобрений, и на этой основе отказаться от планов развития туковой промышленности, от химизации земледелия в нашей стране.

Он мужественно боролся с недооценкой значения производства и широкого применения минеральных удобрений в земледелии нашей страны, вел острую полемику с В.Р. Вильямсом и его сторонниками, считавшими, что недостаток минеральных удобрений можно восполнить улучшением структуры почвы с помощью многолетних трав в рамках травопольной системы земледелия [3, 12, 27].

Его статья «Травополье и агрохимия» является образцом борьбы за научную истину в сложной полемике с именитыми оппонентами. Опубликованная в журнале «Химизация социалистического земледелия», №9, 1937 г., она начинается словами: «Невероятно, но факт: имеются авторы, способные противопоставлять вопросы почвенной структуры вопросам минерального питания, травополье – химизации и даже биохимию – агрохимии» [27, т. III, с. 192].

Глубоко убежденный в своей правоте, основанной на научных знаниях и фактах, историческом опыте земледелия, Д.Н. Прянишников подвергает уничтожающей критике своих оппонентов, не допуская даже мысли о том, что вопреки здравому смыслу что-то может быть иначе.

Он камня на камне не оставляет от идеологической основы травополья: «Но в травопольной системе некоторые видят какую-то панацею от всех зол, незаменимую «во все времена и для всех народов», забывая, *что не может существовать одной системы, одинаково пригодной повсюду*, как для малонаселенных, так и для густонаселенных районов, например, и для животноводческих хозяйств Заволжья и Казахстана, и для свеклосахарных хозяйств северной Украины: если в первом случае уместно экстенсивное травополье, то во втором случае нужны интенсивные плодосменные севообороты. Следует говорить о географическом размещении *разных систем* и связанных с ними севооборотов, в соответствии с общегосударственными интересами и учетом местных естественноисторических и хозяйственных условий и оставить мечту о каком-то «философском камне» универсального значения, *о каких-то путях реформирования сельского хозяйства вне времени и пространства*» [27, т. III, С. 193-194].

Принципиальность, мужество в борьбе за научную истину, настойчивость и кипучая энергия Д.Н. Прянишникова позволили преодолеть ошибочность легких и сомнительных решений в повышении плодородия почвы и урожайности сельскохозяйственных культур, убедить правительственные органы в необходимости создания в стране мощной туковой промышленности и начать химизацию земледелия широким фронтом.

Д.Н. Прянишников обладал высокой добропорядочностью и принципиальностью, мужественно отстаивал научные истины и свои убеждения в острых дискуссиях со своими оппонентами, смело вставал на защиту своих коллег. Сам находясь под постоянной угрозой неоправданных репрессий, он мужественно выступил на защиту репрессированного Н.И. Вавилова, вступив в неравную борьбу с самим Берия. Так же решительно и смело он защищал необоснованно репрессированных своих коллег А.Г. Дояренко, Н.М. Тулайкова, Ш.Р. Цинцадзе и других известных ученых, объявленных «врагами народа». Об этом ярко

свидетельствуют его письма, которые сохранились в личном фонде академика Д.Н. Прянишникова, и одно из которых приводится ниже:

«Председателю ЦИК Союза тов. Калинину

Многоуважаемый Михаил Иванович!

В свое время Вы при личной беседе спрашивали меня, что тормозит развитие научно-исследовательских работ в Союзе в области агрохимии, а также чем замедляется внедрение науки в широкую практику социалистического земледелия. Одним из основных тормозов, на мой взгляд, является отсутствие кадров, владеющих всей суммой необходимых методик научно-исследовательского мышления, а также способных ставить на разрешение проблемы применительно к крупному социалистическому земледелию. Среди моих учеников, выпущенных на агрономическую и научно-исследовательскую работу за 45 лет моей преподавательской деятельности, особенно выдавался своими знаниями и умением претворять достижения науки в практику С.С. Геркен.

Агроном С.С. Геркен после окончания с.-х. института в 1913 г. в течение 8 лет заведовал Волоколамским льняным опытным полем, затем в течение 7 лет состоял заведующим отделом полеводства Московской областной опытной станции. В 1927 и 1928 гг. работал в научном институте удобрений и в 1929 г. был выбран деканом сельскохозяйственного факультета Нижегородского университета.

Год тому назад, в ноябре месяце 1930 года С.С. Геркен был арестован в Нижнем Новгороде и в настоящее время коллегией ОГПУ осужден к 5 годам концентрационного лагеря и находится в Акмолинском районе.

Еще будучи студентом, С.С. Геркен проявил недюжинные способности как исследователь, работал у меня в лаборатории и сдал на кафедре изучения удобрений дипломную работу. Во время своей 15-летней работы первоначально в качестве директора Волоколамского опытного поля, а затем заведующего отделом полеводства С.С. Геркен проявил особую способность ставить на разрешение сложнейшие вопросы и разрешать их простейшими и доступными методами. С именем С.С. Геркена связана вся методика полевого опыта льняного дела.

Я не знаю виновности и преступления С.С. Геркена. Я предполагаю возможность наличия здесь ошибки или оговора кем-либо из действительных преступников против Советской власти.

Очень прошу Вас, Михаил Иванович, распорядиться пересмотреть дело С.С. Геркена, ибо мне хорошо известна его исключительная преданность строительству дела социализма в нашей стране, его кипучая энергия и исключительные способности, которые должны быть особенно использованы в наши дни, когда волей правительства и партии как по вопросам химизации, так и скорейшему развитию льноводства придается законное и исключительное значение. В этих вопросах С.С. Геркен располагает солидным багажом и, безусловно, мог бы принести посильную помощь.

Я прошу Вас пересмотреть постановление коллегии ОГПУ и считаю, что С.С. Геркен должен быть использован при развертывании работ только что организованного Научно-исследовательского института по удобрениям в составе Всесоюзной сельскохозяйственной Академии имени Ленина.

Если возможно, прошу сообщить мне, что Вы найдете возможность сделать что-то в отношении судьбы С.С. Геркена и признаете ли возможным пересмотреть его современное положение» [32].

По выражению М.Х. Чайлахяна «Прянишников был совестью науки». Он отличался большой отзывчивостью и вниманием к своим многочисленным коллегам и ученикам, был для них центром притяжения, источником научных знаний и народной мудрости.

В блистательном очерке о Д.Н. Прянишникове известный агрохимик академик В.Г. Минеев, обобщая большой материал о его жизни и деятельности, отмечает, что Дмитрий Николаевич был примером сочетания великого ученого и гражданина. «Благородное служение науке он соединял с любовью к людям и олицетворял собою образ гражданина, с исключительной чуткостью отзывающегося на окружающую жизнь.

Он воплощал лучшие душевные свойства – терпимость к чужому мнению и стойкость в своих убеждениях» [11, с. 316; 16].

### **Научные идеи Д.Н. Прянишникова в практике земледелия Нечерноземной зоны**

В своих трудах Д.Н. Прянишников активно пропагандировал прогрессивные системы земледелия, рациональные севообороты и структуру посевных площадей, полевое травосеяние, занятые пары, новые перспективные виды и сорта сельскохозяйственных культур, прогрессивные технологии их возделывания и приемы ухода за ними применительно к конкретным почвенно-климатическим условиям.

Наглядное представление о большом разнообразии научных интересов Д.Н. Прянишникова как ученого-агронома дает то внимание, которое он уделял различным вопросам развития земледелия Нечерноземной зоны. В этой области научной и практической деятельности Д.Н. Прянишникова можно выделить ряд направлений, которые стали бесценным его научным наследием, получили развитие в трудах нескольких поколений ученых – его учеников, и оказали большое влияние на развитие теории и практики земледелия в этом регионе.

К ним относятся:

1. *Клеверосеяние и плодосменная система земледелия.*
2. *Учение о севооборотах*
3. *Люпинизация земледелия и роль биологического азота.*
4. *Зерновая специализация земледелия.*

### **Клевер – благодеяние для Нечерноземья**

Развитие вопросов *клеверосеяния и плодосменной системы земледелия* в трудах Д.Н. Прянишникова было предопределено тем, что, будучи верным учеником К.А. Тимирязева, Д.Н. Прянишников взял на вооружение его учение о ведущей, космической роли живых растений в круговороте веществ и энергии в природе, об их влиянии на биосферу и почву как важнейшую ее составляющую.

Увязывая эти вопросы с практикой земледелия, К.А. Тимирязев в своем знаменитом труде «Земледелие и физиология растений», в частности, дает высокую оценку значения клеверосеяния в развитии земледелия: «...едва ли в истории найдется много открытий, которые были бы таким благодеянием для человечества, как это включение клевера и вообще бобовых растений в севооборот, так поразительно увеличившее производительность труда земледельца» [34, т. II, с. 148].

Клеверосеяние и плодосменная система земледелия – два тесно взаимосвязанных явления в истории мирового и отечественного земледелия. В XVIII-XIX вв. клеверосеяние стало основой плодосменной системы земледелия, которая, придя на смену зернопаровой трехполке, сыграла революционную роль в развитии земледелия западноевропейских стран и оказала большое влияние на развитие земледелия в нашей стране.

Д.Н. Прянишников еще во время первой своей научной командировки по европейским странам в конце 1890-х годов заинтересовался и изучил опыт использования клеверосеяния в плодосменных системах земледелия Германии, Франции и других стран Европы.

Познав их преимущества перед традиционной трехполкой, он с тех пор стал приверженцем клеверосеяния и плодосменной системы земледелия, постоянно пропагандировал и многократно использовал их в своих трудах и выступлениях прежде всего как яркий пример эффективного использования биологического потенциала клевера – ценной кормовой культуры.

Однако ценность этого растения, как и других бобовых культур, заключалась также в том, что они, синтезируя и накапливая в почве азот атмосферы, оказывают положительное влияние на плодородие почвы.

Являясь важным источником биологического азота в земледелии, клевер и другие бобовые культуры также обогащают почву органическим веществом как прямо – своими поукосными и корневыми остатками, богатыми азотом и другими питательными веществами, так и опосредованно – через навоз с высокими удобрительными свойствами.

К этому следует добавить также положительное влияние многолетних бобовых культур

на водно-физические свойства почвы – клевер, люцерна и другие культуры этой группы оставляют после себя хорошо оструктуренную почву с высокой влагоемкостью, водо- и воздухопроницаемостью.

Все это делает клевер и другие бобовые культуры стержнем плодосменной системы земледелия, который дополнительно укрепляется еще и положительным влиянием на плодородие почвы пропашных культур. Их поля являются обязательным элементом плодосменных севооборотов, и через внесение навоза и интенсивную обработку почвы под пропашные культуры они усиливают эффект чередования зерновых с бобовыми и пропашными культурами в этих севооборотах.

Анализируя опыт западноевропейского земледелия, Д.Н. Прянишников отмечал, что благодаря плодосмену Англия, Германия, Франция и другие страны Европы в XIX веке увеличили урожайность зерновых культур с 7 до 15 ц/га. Применение на этом фоне минеральных удобрений позволило этим странам к 30 гг. прошлого столетия повысить урожайность зерновых культур в среднем до 30 ц/га зерна.

Раскрывая причины эффективности плодосменных севооборотов, Д.Н. Прянишников подчеркивал, что их родина – западноевропейские страны с высокой степенью обеспеченности атмосферными осадками. Например, в Англии, Голландии, Дании, в приморских областях Германии, Франции и других стран среднегодовое количество осадков достигает 800-1000 мм при положительных среднегодовых температурах января.

Такой климат исключительно благоприятен для вегетации клевера и других многолетних трав, потребляющих большое количество влаги – их транспирационный коэффициент в два раза выше, чем у других полевых культур [1, 6]. Благоприятен для них и климат большинства районов европейской части Нечерноземной зоны, которые относятся к районам достаточного увлажнения. И для них Д.Н. Прянишников рекомендовал простейшие плодосменные чередования по типу норфолькского севооборота: 1. клевер, 2. озимые зерновые (рожь, пшеница, позже – тритикале, рапс), 3. пропашные (картофель, кормовые корнеплоды, позже кукуруза на силос), 4. яровые зерновые (овес, ячмень) с подсевом клевера.

В начале прошлого столетия эти чередования были приняты в отдельных хозяйствах Нечерноземной зоны, как в виде чистого плодосмена, так и в комбинации его с зернопаровым звеном – переходный вариант: 1. клевер, 2. озимые зерновые, 3. пропашные, 4. яровые зерновые, 5. чистый пар, 6. озимые зерновые, 7. яровые зерновые с подсевом клевера.

Дальнейшее развитие научно-технического прогресса позволило окончательно решить вопрос о замене в Нечерноземной зоне чистых паров занятыми, эффективность которых в этих условиях была доказана работами Д.Н. Прянишникова, А.Г. Дояренко и других ученых. И в 30-е годы в практике земледелия зоны стали вводиться широко распространенные в дальнейшем многопольные чередования с различными вариациями типа: 1-2. многолетние травы (клевер в чистом виде, но чаще в смеси с тимофеевкой), 3. озимые зерновые, 4. пропашные, 5. яровые зерновые, 6. занятый пар (вика-овес на корм, зернобобовые), 7. озимые зерновые, 8. яровые зерновые с подсевом многолетних трав.

По рекомендациям Д.Н. Прянишникова увеличение в структуре посевных площадей удельного веса многолетних и однолетних кормовых трав такие зернотравянопропашные полевые севообороты в условиях Нечерноземной зоны превращало в травянозерновые (более 50 % трав) кормовые или травопольные (100 % трав) 7-10-польные лугопастбищные кормовые севообороты.

В прифермских травяно-пропашных кормовых севооборотах этой зоны структура посевных площадей определяла использование 4-6-польных чередований с примерно равной площадью посева кормовых трав и пропашных культур (кормовые корнеплоды, картофель, кукуруза на силос и др.): 1. однолетние травы на зеленый корм с подсевом многолетних трав, 2-3. многолетние травы, 4. картофель, 5. кукуруза на силос, 6. кормовые корнеплоды [24].

### **Плодосмен – краеугольный камень учения о севообороте**

Развитию *научно-практических основ севооборота* как основополагающей части плодосменной и других прогрессивных систем земледелия Д.Н. Прянишников придавал

большое значение, и внес большой вклад в развитие теории плодосмена в самом широком смысле этого слова. Крупным вкладом Д.Н. Прянишникова в теорию и практику севооборота являются его труды по научному обоснованию причин чередования культур на полях и их классификации.

Еще в древности была известна эффективность смены культур на полях, но ни в те времена, ни в Средние века никто не смог объяснить ее причин. Лишь с развитием естествознания в начале XIX века появились первые попытки научно объяснить эффективность плодосмена на полях. Это были теории почвоутомления О. Декандоля и гумусового питания растений А. Тэера, которые сменились учениями Ю. Либиха о минеральном питании растений и Г. Гельригеля об азотофиксация бобовыми растениями. Их в свою очередь сменила теория П.А. Костычева и В.Р. Вильямса о структурирующей и структурирующей культурах, теории корнесмена В.Г. Ротмистрова и А.М. Модестова [3].

Но все эти теории страдали односторонностью и не давали объективной оценки и полного объяснения сложным процессам, которые происходили на полях при чередовании культур или при их бессменном возделывании. Впервые этим явлениям всестороннюю научную оценку дал Д.Н. Прянишников. Будучи активным пропагандистом принципов плодосмена, он вслед за И.А. Стебутом признавал множественность причин чередования культур. И заслуга Д.Н. Прянишникова заключается в том, что он впервые научно обосновал и определил их как комплекс взаимосвязанных причин, наиболее эффективных при их совокупном действии. Опираясь на законы научного земледелия, он объединил их в четыре группы:

1. *Агрохимические, связанные с особенностями питания растений.*
2. *Агротехнические, связанные с действием растений на структуру и влажность почвы.*
3. *Биологические, связанные с различным отношением растений к болезням, вредителям и сорнякам, к явлениям почвоутомления.*
4. *Экономические, определяющие преимущества правильного чередования культур севооборота с позиций организации производства [9].*

Эти положения Д.Н. Прянишникова выдержали испытание временем, и в настоящее время являются основополагающими и важной составной частью теории и практики севооборота в современном земледелии. Особенно пророческими оказались его оценки роли отдельных причин чередования культур в будущих севооборотах.

Например, Д.Н. Прянишников придавал особое значение причинам биологического характера, которые он считал «...самыми непреодолимыми при попытках отклонения от плодосмена (в широком смысле этого слова), потому что с истощением почвы мы можем бороться внесением удобрений, с потерей должного строения – внесением органического вещества, извести и правильной обработкой, но с размножением паразитов очень часто мы не можем справиться без должного севооборота» [27, т. II, с. 17].

Прошло более 80 лет с того времени, как были написаны эти слова, но и на сегодня это одно из положений теории севооборота, разработанной Д.Н. Прянишниковым, остается в силе. Несмотря на широкое применение пестицидов, отечественное земледелие ежегодно теряет десятки миллионов тонн различной сельскохозяйственной продукции из-за того, что попираются научные законы земледелия (закон возврата, плодосмена и др.), грубо нарушаются принципы чередования культур на полях, чрезмерно зараженных из-за этого болезнями, вредителями, засоренных злостными сорняками.

#### **«Люпин – благословение песков»**

Другой важной сферой научных интересов Д.Н. Прянишникова была *люпинизация земледелия и проблема биологического азота.*

Условным названием «люпинизация земледелия» Д.Н. Прянишников определял комплекс мероприятий по повышению плодородия почвы с помощью зеленого удобрения. И не только люпинового, и не только песчаных почв, и, наконец, не только в Нечерноземной зоне.

Еще при подготовке к профессорскому званию во время своей научной стажировки в Германии в 1892 году Д.Н. Прянишников посетил хозяйство Шульца в Люпице и детально

изучил опыт окультуривания песчаных почв в этом хозяйстве с помощью посевов люпина на зеленое удобрение в сочетании с фосфорно-калийными удобрениями. Он был восхищен опытом немецкого фермера-опытника, называвшего люпин «благословением песков», высоко оценил опыт окультуривания германских пустошей – бесплодных песчаных почв – с помощью люпина и неоднократно обращался к нему, пропагандируя идеи люпинизации земледелия в нашей стране [12, 27].

Начиная с 1897 года, Д.Н. Прянишников в Московском сельскохозяйственном институте (ныне РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева) проводит исследования по изучению растений люпина. На Опытном поле, в вегетационных домиках института он устанавливает высокую способность растений люпина к биологической фиксации атмосферного азота, к усвоению трудно растворимых фосфатов, их устойчивость к высокой кислотности почвы, способность быстро формировать мощную корневую систему, глубоко проникать в подпахотные слои почвы и находить там необходимые ему питательные вещества и воду [11, 13].

Именно эти свойства позволяли растениям люпина хорошо расти и развиваться на бесплодных песчаных и супесчаных почвах, накапливая большую вегетативную массу высокой удобрительной ценности.

По инициативе Д.Н. Прянишникова в конце XIX-го – начале XX вв. на Опытном поле Московского СХИ была проведена серия полевых опытов по изучению агротехники и способов использования люпина в качестве зеленого удобрения. Их результаты были изложены в работе заведующего Опытным полем МСХИ А.Л. Яковлева, посвященной зеленому удобрению [8], и неоднократно использовались Д.Н. Прянишниковым в пропаганде и внедрении идей люпинизации земледелия, прежде всего, на малоплодородных землях Нечерноземной зоны [12].

Зеленое удобрение Д.Н. Прянишников рассматривал, прежде всего, как органическое удобрение, способное заменить недостающий навоз [13, 21, 27]. По этому поводу он писал: «И там, где для улучшения почв особенно необходимо обогащение их органическим веществом, а навоза по той или иной причине не хватает, зеленое удобрение приобретает особенно большое значение. В сочетании с навозом и другими органическими удобрениями, а также с удобрениями минеральными зеленое удобрение в качестве одного из элементов системы удобрений должно стать весьма мощным средством поднятия урожаев и повышения плодородия почв» [27, т. I, с. 335].

В то же время идеи люпинизации земледелия красной нитью проходят через многочисленные труды Д.Н. Прянишникова, посвященным *проблемам азота в земледелии нашей страны* [12, 20, 21]. Постоянная забота об азотном питании растений привела Д.Н. Прянишникова к идее широкого использования в земледелии биологического азота, т. е. азота, накапливаемого в почве при помощи живых организмов. Особое внимание в этом смысле привлекали бобовые культуры как фиксаторы атмосферного азота. Отмечая дешевизну и доступность биологического азота, Д.Н. Прянишников вел настойчивую пропаганду внедрения в сельское хозяйство основных методов получения и использования этого азота. Он постоянно доказывал, что сельское хозяйство при помощи возделываемых бобовых культур уже в те годы могло накопить в почве столько азота, сколько химическая промышленность сумела бы произвести только при достаточно мощном ее развитии. В результате этой пропаганды площадь посевов многолетних бобовых трав к 40-м годам прошлого столетия в нашей стране возросла по сравнению с дореволюционным уровнем в 5-6 раз [12].

Идея биологического азота в трудах Д.Н. Прянишникова неразрывно связана с идеями повышения плодородия почвы с помощью зеленого удобрения. Основным растением для зеленого удобрения он считал люпин как один из лучших среди бобовых растений фиксаторов атмосферного азота и притом способного произрастать на малоплодородных песчаных почвах [21].

В посевах люпина и других бобовых культур он видел важнейший источник биологического азота для покрытия расходной части баланса в земледелии страны. В статье «Люпин, фосфорит и зола», опубликованной в 1919 году, Д.Н. Прянишников писал: «Итак, не будем бездействовать в ожидании того времени, когда у нас построятся заводы для связывания азота воздуха и когда суперфосфаты и преципитаты станут общедоступными;

будем кустарным путем улавливать азот из воздуха, не забывая того факта, что **каждый куст люпина** (и другого бобового) есть в сущности миниатюрный завод по утилизации атмосферного азота, работающий даром за счет солнечной энергии» [21, т. III. с. 591].

Д.Н. Прянишников постоянно занимался изучением вопросов люпинизации земледелия и разработал много практических приемов по использованию люпина на зеленое удобрение.

Одним из них было предложение организовать удобрение полей в безнавозных хозяйствах Нечерноземной зоны путем сочетания посевов люпина с внесением в почву фосфоритной муки и золы. Для продвижения люпинового зеленого удобрения в северные районы Нечерноземной зоны был рекомендован более скороспелый однолетний узколистный люпин. Для самых северных районов им был выписан из Канады и внедрен в производство многолетний люпин, обладающий мелкими семенами и способный давать, начиная со второго года, зрелые семена у самых северных границ земледелия [13, 21].

Он считал, что если на чистых парах падающая на них солнечная энергия пропадает бесследно, то на занятых парах и на полях с пожнивными и другими промежуточными культурами Нечерноземной зоны эта даровая энергия должна использоваться для производства кормов или зеленого удобрения.

В такой оценке значения зеленого растения прослеживается развитие Д.Н. Прянишниковым идей своего учителя К.А. Тимирязева о планетарной роли растений применительно к определению значения люпина и других сидератов в земледелии нашей страны, в том числе и в виде промежуточных их посевов.

### **Резервный миллиард пудов зерна в Нечерноземье.**

*Зерновая специализация земледелия Нечерноземной зоны* является еще одним важным направлением агрономической деятельности Д.Н. Прянишникова, которое сыграло большую роль в развитии земледелия Нечерноземной зоны.

Еще в 20-е годы прошлого столетия, озабоченный неустойчивостью производства зерна в засушливых южных районах нашей страны, Д.Н. Прянишников мечтал о надежном резервном миллиарде пудов зерна, который могла бы давать стране Нечерноземная зона [25].

16 июня 1929 г. в газете «Известия ЦИК СССР» №136 Дмитрий Николаевич выступил со статьей «Резервный миллиард». В ней он писал: «...Неотложная задача страхования от неурожая на Юго-Востоке и планомерный подход к правильной организации труда земледельческого населения заставляет нас обратить гораздо больше внимания, чем до сих пор это делалось, на земледелие в нечерноземной полосе... Тогда не только поднимется благосостояние самого крестьянства, но земледелие станет обильным источником средств для быстрого развития промышленности в нашей стране. Чтобы быть застрахованным от тяжелых последствий подобной засухи, необходимо создавать лишний миллиард пудов зерна (около 17 млн. тонн) в полосе, не знающей засухи, т.е. в нечерноземной полосе» [25].

И в 80-е годы прошлого столетия мечта Д.Н. Прянишникова сбылась – благодаря интенсификации земледелия на основе его химизации, новым высокопродуктивным сортам, возросшей культуре земледелия только в европейской части Нечерноземной зоны в 1985 году было произведено 17105 тыс. т. зерна [29].

Это и был тот самый миллиард пудов зерна, о котором мечтал Дмитрий Николаевич. И большая часть этого миллиарда – 60 % была произведена в Центральном районе Нечерноземной зоны. Многие хозяйства этого района получали в те годы на круг по 4-5 т/га зерна.

Однако реформирование АПК в условиях затяжного экономического кризиса привело к тому, что площадь посевов зерновых культур в Центральном районе Нечерноземья сократилась с 6314,0 тыс. га в 1990 году до 2542,7 тыс. га в 2010 году, а производство зерна за тот же период здесь уменьшилось с 9913 тыс. тонн до 4151,3 тыс. т, то есть больше, чем вдвое [29].

За это время в структуре посевных площадей также произошли существенные изменения, которые вызвали затруднения в организации научно обоснованного чередования сельскохозяйственных культур на полях [4, 10, 12].



Известно, что научно обоснованное чередование культур в севооборотах на основе принципов плодосмена существенно – в среднем в 1,5-1,7 раза повышает урожайность основных зерновых культур по сравнению с их бессменным возделыванием [2, 4, 10, 12, 30].

Но реализация принципов плодосмена в настоящее время затруднена тем, что из структуры посевных площадей Центрального Нечерноземья выпали посевы пропашных культур, составлявшие раньше один из основных элементов плодосмена. Например, за последние 20 лет площадь посадок картофеля в сельскохозяйственных предприятиях зоны уменьшилась в 10 раз, силосной кукурузы в 5 раз [10, 12, 29].

В несколько раз сократились здесь площади посевов зернобобовых культур, и как элементы плодосмена вместе с пропашными культурами они утратили свое значение в построении полевых севооборотов. Сократилась также площадь посевов однолетних трав как паро-занимающих культур. И в структуре посевных площадей преобладающими стали посевы зерновых культур, определившие зерновую специализацию земледелия Нечерноземья.

В современных условиях зерновая специализация земледелия объективно оправдана и является перспективной, так как производство зерна здесь имеет ряд экономических, технологических и агроэкологических преимуществ, о которых упоминал еще Д.Н. Прянишников [4, 9, 10].

*Во-первых*, в качестве зерновых культур здесь возделываются *разнообразные виды культур*, которые существенно отличаются по биологии и технологии возделывания – по озимости и яровости, по срокам посева и уборки, по устойчивости к болезням и вредителям, по конкурентной способности к сорнякам и по другим признакам.

Это позволяет в пределах зерновой группы эффективно организовать смену культур, отличающихся различным потреблением воды, питательных веществ из почвы, степенью их воздействия на физические, химические и биологические свойства почвы, устойчивостью к различным видам эрозии, степенью поражения их специализированными болезнями и вредителями, засоренностью их специализированными сорняками и т. д.

*Во-вторых*, технология возделывания зерновых культур полностью механизирована, и себестоимость производства зерна значительно ниже, чем производство другой растениеводческой продукции [4, 10].

*В-третьих*, зерно как ценный рыночный товар меньше всего подвержено колебаниям рыночной конъюнктуры, так как оно может храниться десятки лет и выставляться на продажу тогда, когда складываются благоприятные для него рыночные условия.

*В-четвертых*, после уборки зерновых культур остается 2-2,5 месяца теплого времени, в течение которого возможно возделывание различных видов пожнивных и других промежуточных кормовых и сидеральных культур [9, 12].

*В-пятых*, при зерновой специализации земледелия производится большое количество соломы, которая при «безнавозном» типе хозяйства мало используется, но является важной формой органического удобрения [1, 2, 4, 12].

*В-шестых*, возделывание зерновых культур имеет ряд агроэкологических преимуществ. Они возделываются сплошным способом и своим покровом надежно укрывают почву от разрушения. Особенно это эффективно при возделывании озимых зерновых культур, которые, например, в Центральном Нечерноземье занимают половину площади посева зерновых культур [10, 29].

Кроме того, зерновые культуры оставляют на полях *стерню*, которая задерживает снег, накапливает влагу в почве, и защищает ее от эрозии [3, 12].

*Седьмое* – важно также и то, что правильно организованное чередование культур в зерновых севооборотах повышает их фитосанитарные и почвозащитные функции.

Например, *овес* в таких чередованиях выполняет роль «*санитарной*» культуры, так как он не поражается болезнями корневых гнилей и прерывает чередование пшеницы и ячменя, растения которых поражаются одними и теми же возбудителями болезней корневых гнилей [3, 4, 12, 30].

Посевы озимой пшеницы и озимой ржи *подавляют распространение яровых сорных растений*, а смена озимых зерновых культур яровыми зерновыми очищает поля от *озимых, зимующих и двулетних сорных растений*. Хорошему очищению полей от сорняков способствуют занятые пары, особенно сидеральные [4, 9, 10, 12].

### **Многолетние травы – спутник зерновой специализации и биологизации земледелия в Нечерноземье**

Зерновой специализации земледелия Центрального Нечерноземья благоприятствует наличие в структуре посевных площадей больших площадей посевов *многолетних трав* – важного почвоулучшающего элемента плодосмена в условиях достаточного увлажнения. Во многих хозяйствах этой зоны многолетние травы в настоящее время занимают до половины посевной площади, и служат основой зернотравяных севооборотов [10, 12, 14, 29].

Вместе с тем предельное насыщение севооборотов зерновыми культурами – до 75-80 %, даже при самом рациональном их чередовании в условиях Центрального Нечерноземья приводит к снижению урожайности зерновых культур, особенно когда их технология возделывания не обеспечена необходимым количеством удобрений, средств защиты растений, регуляторов роста и другими средствами производства [2, 10, 12].

И с этим связана проблема воспроизводства плодородия почвы, которое в последние два десятилетия на землях Центрального Нечерноземья имеет тенденцию к снижению [12]. Это объясняется, прежде всего, большим ежегодным выносом питательных веществ с урожаем зерновых и других сельскохозяйственных культур, который из года в год не восполняется необходимым количеством удобрений.

Расчеты показывают, что при средней урожайности зерновых культур в 3 т/га зерна суммарное количество питательных веществ, которое необходимо внести в почву с удобрениями для компенсации их выноса с таким урожаем зерна составит в зависимости от вида зерновой культуры от 207 до 297 кг/га, тогда как ежегодное внесение минеральных удобрений под зерновые культуры здесь не превышает 40 кг/га действующего вещества [12], а навоз под зерновые культуры практически не вносится. И в связи с постоянным нарушением закона возврата в земледелии этого региона сложился резко отрицательный баланс питательных веществ, ведущий к истощению плодородия почвы.

В соответствии с законом возврата такие потери питательных веществ требуют постоянной их компенсации путем внесения большого количества минеральных и органических удобрений. Но резкое сокращение поголовья животноводства в последние два десятилетия породило острый дефицит навоза – его применение в этом районе сократилось в среднем в четыре раза [12, 29]. За это время резко сократилось и практически сведено к нулю использование в качестве органического удобрения торфа. Из-за высокой цены для многих сельскохозяйственных товаропроизводителей стали недоступны минеральные и известковые удобрения, применение которых за время реформирования АПК сократилось в несколько раз.

Поэтому для воспроизводства плодородия почвы актуальным становится поиск и использование других источников удобрений. Эти источники подсказывает сложившаяся здесь структура посевных площадей. С позиции воспроизводства плодородия почвы особое значение имеет то обстоятельство, что наряду с посевами зерновых культур здесь большое распространение имеют *посевы многолетних трав*.

Их ценность в севооборотах Нечерноземной зоны определяется прежде всего тем, что клевер, люцерна и другие бобовые многолетние травы обогащают почву азотом – в год они способны усваивать из атмосферы и накапливать до 150-200 кг/га биологического азота на 1 га пашни, что равноценно 4-6 ц дорогостоящей аммиачной селитры [2, 4, 12]. И этот азот находится в составе органического вещества и не вымывается из почвы, что имеет большое агроэкологическое значение.

Многолетние травы, особенно их бобово-злаковые смеси являются важным источником органического вещества для малоплодородных почв Нечерноземья. На дерново-подзолистых почвах Московской области клеверо-тимофеечная смесь двухлетнего использования оставляет в пахотном слое до 7 т/га абсолютно сухой органической массы, что равноценно внесению в почву 25-30 т/га навоза с оптимальным соотношением углерода к азоту [12]. Поэтому многолетние травы стоят в ряду лучших предшественников, превосходя чистые и занятые пары и давая по 5-6 т/га зерна [2, 4, 12].

Установлено, что насыщение полевых севооборотов посевами многолетних трав до 33 % площади пашни обеспечивает бездефицитный баланс гумуса в дерново-подзолистой почве, а с увеличением их удельного веса в севообороте до 50 и более процентов баланс

гумуса в таких почвах становится положительным [17]. Дернина и мощный их травяной покров надежно предохраняют почву от эрозии [12].

### **Промежуточные сидеральные культуры и плодородие почвы**

Другим эффективным средством повышения плодородия почвы в зерновых севооборотах, экологизации и биологизации земледелия Нечерноземья является *зеленое удобрение*, которое по своей удобрительной ценности не уступает навозу, но значительно дешевле навоза, торфа и других органических удобрений, особенно, когда оно применяется в виде *промежуточных культур – пожнивных, поукосных, подсевных, озимых* [12, 30].

Применение промежуточных культур в качестве сидератов является дальнейшим развитием идей Д.Н. Прянишникова о широком внедрении зеленого удобрения в земледелии Нечерноземной зоны. Именно такая форма сидерации экономически наиболее выгодная, так как промежуточные сидераты позволяет, не снижая выхода основной продукции севооборота, повышать плодородие почвы и общую продуктивность севооборотов Нечерноземья [12]. Кроме того, промежуточные сидераты как дополнительный элемент плодосмена и органическая форма удобрения являются важным фактором биологизации и экологизации земледелия в современных агроландшафтах [14, 17, 18, 38].

В качестве сидеральных промежуточных культур здесь хорошо себя зарекомендовали сравнительно новые культуры из семейства капустовых – *рапс, горчица белая, редька масличная, сурепица*, а также *фацелия, амарант* и некоторые другие.

Из всех культур семейства капустовых белая горчица оказалась наиболее устойчивой к неблагоприятным условиям, которые бывают в отдельные годы в центральных областях Нечерноземья. При посеве в начале августа в условиях Подмосковья она быстро растет и к началу октября, выдерживая осенние ночные заморозки до  $-6^{\circ}\text{C}$ , способна наращивать до 25-30 т/га зеленой массы, которая по удобрительной ценности равна такому же количеству навоза [12].

Если внесение 20 т/га навоза на дерново-подзолистых среднесуглинистых почвах повышает урожайность картофеля на 48%, а равноценное ему количество минеральных удобрений – на 36%, то заплата зеленой массы пожнивной горчицы (18-20 т/га) в чистом виде повышает сбор клубней картофеля на 49,8%, а в сочетании с удобрением соломой озимых культур (5-6 т/га) – на 58,6%. При этом повышается товарность клубней и содержание крахмала в них [12, 39].

На супесчаных дерново-подзолистых почвах Брянской области после пожнивного сидерата урожайность картофеля повышалась на 86%, после внесения равнозначного количества минеральных удобрений – на 46%, минеральных удобрений с навозом – на 84 % [12, 13].

Длительное использование (в течение 4 шестилетних севооборотных ротаций) пожнивного сидерата в сочетании с удобрением соломой на фоне минеральных удобрений обеспечивало в зерновом севообороте с 83% зерновых культур такой же уровень содержания гумуса и общего азота в пахотном слое почвы, как и в плодосменном севообороте с двумя полями многолетних трав [10, 12]. При этом многолетнее применение пожнивного зеленого удобрения как в чистом виде, так и в сочетании с удобрением соломой на фоне минеральных удобрений в зерновом севообороте снижало плотность почвы в пахотном слое, повышало содержание структурных агрегатов и увеличивалась водопроницаемость почвы, которая тесно связана со структурой, плотностью и другими показателями физического состояния почвы.

Кроме удобрительной функции, пожнивные сидеральные культуры выполняют в зерновых севооборотах важную *фитосанитарную роль* – снижают засоренность посевов и их поражение различными болезнями. Они становятся важным фактором биологизации и экологизации земледелия, защищают почву от эрозии, способствуют охране окружающей среды, обеспечивают устойчивое экологическое равновесие и получение экологически чистой продукции [10, 12, 14].

Положительное влияние пожнивного сидерата как в чистом виде, так и в сочетании с соломой на плодородие дерново-подзолистой почвы, на фитосанитарное состояние посевов определяет хороший рост, развитие, высокий урожай сельскохозяйственных культур,

высокую продуктивность севооборота и хорошее качество зерна [9, 10]. Это позволяет в значительной мере снять отрицательные последствия зерновой специализации земледелия и повысить агроэкологические функции зерновых севооборотов.

Приведенные здесь данные являются результатами многолетних исследований, проведенных в различных областях Нечерноземной зоны в развитие идей Д.Н. Прянишникова, и реализацией на практике богатого научного наследия, которое оставил нашей стране выдающийся ученый – агроном, агрохимик, биохимик и физиолог растений [8, 11].

### **Заключение**

#### **Биогеосистемотехническое значение научного наследия Д.Н. Прянишникова**

Деятельность и жизненная позиция Д.Н. Прянишникова как нельзя более востребованы сейчас в связи задачами развития в РФ природоподобных технологий для обустройства нового стабильного многогранного мира [28]. Выдерживая линию Д.Н. Прянишникова на оптимальное сочетание биологических и техногенных факторов земледелия, и опираясь на последние достижения в области агроландшафтоведения, высокоточных агротехнологий с широкой компьютеризацией и мониторингом в агробиосистемах, можно преодолеть противоречия между развитием современных агроэкосистем и биосферой, которые возникли в последние десятилетия и приобрели планетарное значение.

Альтернативы решению этих проблем нет [40], и богатейшее агроэкологическое научное наследие Д.Н. Прянишникова и нескольких поколений его учеников и последователей, апробированное в различных агроклиматических условиях в масштабах нашей страны, позволяет сделать взвешенный выбор вектора дальнейшего развития оптимизации взаимоотношений между этими системами, усилив биотехнологическую и экологическую направленность исследований по этим вопросам [35]. Одной из составляющей этого развития является отечественное научно-техническое направление «биогеосистемотехника» [6, 36, 37].

### **Примечания:**

1. Авров О.Е., Мороз З.М. Использование соломы в сельском хозяйстве. Л.: Колос, 1979. 200 с.
2. Агрономические основы специализации севооборотов / Под ред. С. А. Воробьева и А. М. Четверня. М.: Агропромиздат, 1987. 240 с.
3. Баздырев Г.И., Лошаков В.Г., Рассадин А.Я. и др. Земледелие / Под ред. Г.И. Баздырева. М.: ИНФРА-М, 2013. 608 с.
4. Воробьев С.А. Севообороты интенсивного земледелия. М.: Колос, 1979. 368 с.
5. Гамзиков Г.П. Об академике Д.Н. Прянишникове // Сб. «Сохранение и развитие агрохимического наследия Д.Н. Прянишникова в Сибири». ч. 1. Новосибирск, 2015. С. 13-16.
6. Калиниченко В.П. Биогеосистемотехника как гносеологическая основа управления экосистемами // Живые и биокосные системы. Декабрь 2012. Вып. 1.
7. Левицкий А.П. Дмитрий Николаевич Прянишников. Биографический очерк / Д.Н. Прянишников. Статьи и научные работы. Юбилейный сборник, том 1. М.: Работник просвещения, 1927. С. 7-40.
8. Лошаков В.Г. Развитие агрономических идей Д.Н. Прянишникова в современном земледелии. / Сб. «Сохранение и развитие агрохимического наследия Д.Н. Прянишникова в Сибири». ч. 1. Новосибирск, 2015, С. 10-121.
9. Лошаков В.Г. Воспроизводство плодородия почвы в зерновом севообороте // Владимирский земледелец, 2013. № 3 (65). С. 25-27.
10. Лошаков В.Г. Научно-теоретические основы зерновой специализации севооборотов // Изв. ТСХА. 2006. Вып. 4. С. 3-22.
11. Лошаков В.Г. Ровесник Тимирязевской академии Д.Н. Прянишников / Сб. «Если имя твое тимирязевец ...» М.: Изд-во ВНИИА, 2015. С. 46-72.
12. Лошаков В.Г. Севооборот и плодородие почвы / Под ред. В.Г. Сычева. М.: Изд. ВНИИА, 2012. 512 с.
13. Лошаков В.Г. Зеленое удобрение в земледелии Нечерноземной

зоны. // Владимирский земледелец, 2013. № 1 (63). С. 13-18.

14. Лошаков В.Г. Экологические проблемы современных агроландшафтов // Экология и культура: от прошлого к будущему. Ярославль-Борок, НИИ биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, 2013. С. 13-19.

15. Майсуриян Н.А. Д.Н. Прянишников как растениевод // Удобрение и урожай, 1958. №5. С. 9-54.

16. Минеев В.Г. Агрехимия в Московском университете. М.: КДУ, 2013. С. 316.

17. Новиков М.Н., Тужилин В.М., Самохина О.А. и др. Биологизация земледелия в Нечерноземной зоне. Владимир: ВНИПТИОУ, 2004. 260 с.

18. Постников Д.А. Сравнительная агроэкологическая оценка применения традиционных и перспективных сидеральных культур в условиях Московской области / Постников Д.А., Темирбекова С.К., Лошаков В.Г., Норов М.С., Курило А.А. // Достижения науки и техники АПК. 2014. №8. С. 39-43.

19. Прянишников Дмитрий Николаевич / Спр. «Биологи». Киев: Наукова думка, 1984. С. 518.

20. Прянишников Д.Н. Азот в жизни растений и в земледелии СССР. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1945. 200 с.

21. Прянишников Д.Н. Люпин, фосфорит и зола как замена навоза на тощих землях / Д.Н. Прянишников. Статьи и научные работы. Юбилейный сборник, том 1. М.: Работник просвещения, 1927. С.313-326.

22. Прянишников Д.Н. К вопросу о химизации нашего земледелия // Д.Н. Прянишников. Статьи и научные работы. Юбилейный сборник, том 1. М.: Работник просвещения, 1927. С. 409-440.

23. Прянишников Д.Н. Учение об удобрении. 5-е изд. М: Госиздат, 1922. 432 с.

24. Прянишников Д.Н. Об удобрении полей и севооборотах. М.: МСХ РСФСР, 1962. 256 с.

25. Прянишников Д.Н. Резервный миллиард. Газ. «Известия ЦИК СССР» от 16 апреля 1929 г. № 136.

26. Прянишников Д.Н. Частное земледелие, 6-е изд. М.: Госиздат, 1922. 720 с.

27. Прянишников Д.Н. Избранные сочинения в 3 томах. М.: Сельхозгиз, 1965.

28. Путин В.В. Выступление на заседании генеральной Ассамблеи ООН, сентябрь 2015 г. <http://www.1tv.ru/news/polit/293099>.

29. Российский статистический ежегодник. М.: Росгосстат. 2010 гг.

30. Севооборот в современном земледелии / Под ред. В.Г. Лошакова. М.: МСХА, 2004. 308 с.

31. Сельскохозяйственная энциклопедия. М.: Изд. «Советская энциклопедия», 1974. 5-й том. С. 121-125.

32. Соловьев Ю.И. Мужество академика Д.Н. Прянишникова // Вестн. РАН. 1992. №9. С. 128-138.

33. Сычев В.Г. В союзе с наукой и практикой (50 лет агрохимической службе России) // Плодородие. 2014. №6(81). С. 2-5.

34. Тимирязев К.А. Избр. соч., т. 1-4. М.: ОГИЗ-СЕЛЬХОЗГИЗ, 1948.

35. Шевелуха В.С., Ниловская Н.Т. Эпоха академика Д.Н. Прянишникова и проблемы современной системной биологии и биотехнологии // Плодородие, 2011. №3 (60). С. 5-6.

36. Kalinitchenko V.P. Biogeosystem technique as a contribution to global food sustainability / Kalinitchenko V.P., Batukaev A.A., Zarmaev A.A., Minkina T.M., Starcev V.F., Dikaev Z.S., Magomadov A.S., Jusupov V.U. // 248th ACS National Meeting & Exposition. 13TH IUPAC International Congress Of Pesticide Chemistry. Crop, Environment, and Public Health Protection. Technologies for a Changing World. Co-sponsored by IUPAC and ACS-AGRO. August 10-14, 2014. San Francisco, California, USA. Abstracts. AGRO 143. P. 37.

37. Kalinitchenko V.P. Biogeosystem technique as a method to overcome the Biological and Environmental Hazards of modern Agricultural, Irrigational and Technological Activities / Kalinitchenko V.P., Batukaev A.A., Zinchenko V.E., Zarmaev A.A., Magomadov A.S., Chernenko V.V., Startsev V.F., Bakoev S.U., Dikaev Z.S. // Geophysical Research Abstracts. Vol. 16, EGU2014-17015, 2014. EGU General Assembly 2014. DOI: Vol. 16, EGU2014-17015, Vienna, 2014.

38. Loschakov V.G. Einfluss der langjährigen Stoppelfruchtgrün- und Strohdüngung auf die Fruchtbarkeit von Rasenpodsolböden und den Kornertrag. Archiv für Acker- und Pflanzenbau

und Bodenkunde, 2002. Vol.48. N.6. S. 593-602.

39. Senchenkova E. M. Pryanishnikov Dmitrij Nikolatvich. Complete Dictionary of Scientific Biography, Charles Scribner's Sons. 2008. <http://www.encyclopedia.com/doc/1G2-2830903532.html>

40. Valery I. Glazko, Tatiana T. Galzko. Conflicts of Biosphere and Agroecosystems // International Journal of Environmental Problems, 2015, Vol. (1), Is. 1, pp. 4-16. DOI: 10.13187/ijep.2015.1.4 – <http://www.jbks.ru/archive/issue-1/article-3>

### References:

1. Avrov OE, Moroz SM. The use of straw in agriculture. L.: Kolos, 1979. 200 pp.
2. Agronomic bases crop rotations specialization / Ed. SA Vorobyov and AM Chetvernya. M.: Agropromizdat 1987. 240.
3. Bazdyrev GI Loshakov VG Rassadin AY et al. Agriculture / Ed. GI Bazdyrev. M.: INFRA-M, 2013. 608 pp.
4. Vorobiev SA Rotations of intensive farming. M.: Kolos, 1979. 368 p.
5. Gamzikov GP About Academician DN Pryanishnikov // Coll. "Preservation and development of agrochemical heritage of D.N. Pryanishnikov in Siberia". Part. 1. Novosibirsk, 2015. pp 13-16.
6. Kalinichenko VP Biogeosystem technique as an epistemological basis of ecosystem management // Living and biocausated systems. December 2012. Vol. 1. <http://www.jbks.ru/archive/issue-1/article-3>
7. Levitsky AP. Dmitri Pryanishnikov. Biographical sketch / DN Pryanishnikov. Articles and research papers. Anniversary Collection, Volume 1. M.: Rabotnik Prosveschenia, 1927. pp 7-40.
8. Loshakov VG. Development of agronomic ideas of D.N. Pryanishnikova in modern agriculture. / Coll. "Preservation and development of agrochemical D.N. Pryanishnikova Heritage in Siberia". Part. 1. Novosibirsk, 2015, pp 10-121.
9. Loshakov VG. Reproduction of soil fertility in grain crop rotation // Farmer of Vladimir, 2013. № 3 (65). pp 25-27.
10. Loshakov VG. Scientific-theoretical foundations of the grain crop rotations specialization // Math. TAA. 2006. Vol. 4. pp 3-22.
11. Loshakov VG. Coeval of Timiryazev Academy DN Pryanishnikov / Coll. "If your name is timiryazevets ..." M.: VNIIA, 2015. pp 46-72.
12. Loshakov VG. Crop rotation and soil fertility / Ed. VG Sychev. M.: VNIIA, 2012. 512 pp.
13. Loshakov VG. Green manure in agriculture of Nonchernozem zone // Farmer of Vladimir. 2013. № 1 (63). pp 13-18.
14. Loshakov VG. Ecological problems of modern agricultural landscapes // Ecology and Culture: from the past to the future. Yaroslavl-Borok, Institute of Biology of Inland Waters named after ID Papanin RAS, 2013. pp 13-19.
15. Maisuryan NA. DN Pryanishnikov in crop production // Fertilizer and Harvest, 1958. №5. pp 9-54.
16. Mineev VG Agricultural Chemistry at Moscow University. M.: SAM, 2013. 316 pp.
17. Novikov MN, Tuzhilin VM, Sorokina OA et al. Biologization of agriculture in the Non-chernozem zone. Vladimir: VNIPTIOU, 2004. 260 pp.
18. Postnikov DA. Comparative evaluation of traditional agroecological and promising green manure crops in the conditions of the Moscow oblast / Postnikov DA, Temirbekova SK, Loshakov VG, Norov MS, Kuril AA // Successes of scientific and technological agriculture. 2014. №8. pp 39-43.
19. Dmitri Pryanishnikov / Ref. "Biology". Kiev: Naukova Dumka, 1984. 518 pp.
20. Pryanishnikov DN. Nitrogen in the life of plants in agriculture of USSR. M.-L.: Publishing House of the USSR Academy of Sciences, 1945. 200 pp.
21. Pryanishnikov DN. Lupin, phosphorus and ash as a replacement of manure on skinny land / DN Pryanishnikov. Articles and research papers. Anniversary Collection, Volume 1. M.: Rabotnik Prosveschenia, 1927. pp 313-326.
22. Pryanishnikov DN. On the question of application of chemicals in agriculture // D.N. Pryanishnikov. Articles and research papers. Anniversary Collection, Volume 1. M.: educators, 1927. pp 409-440.

23. Pryanishnikov DN. The doctrine of fertilizer. 5th ed. M: State Publishing House, 1922. 432 pp.
24. Pryanishnikov DN. On fertilizing of fields and crop rotation. M.: Ministry of Agriculture of the RSFSR, 1962. 256 pp
25. Pryanishnikov DN. Reserve billion. Gas. "Proceedings of the CEC of the USSR" from April 16, 1929 № 136.
26. Pryanishnikov DN. Crop production, 6th ed. M.: State Publishing House, 1922. 720 pp.
27. Pryanishnikov DN. Selected works in 3 volumes. M.: Selkhozgiz 1965.
28. Putin VV. Speech at the UN General Assembly, September 2015. <http://www.1tv.ru/news/polit/293099>.
29. Russian Statistical Yearbook. M.: State Statistical Committee. 2010.
30. Crop rotation in modern agriculture / Ed. V.G. Loshakov. M.: ICCA, 2004. 308 pp.
31. Agricultural Encyclopedia. M.: "Soviet Encyclopedia", 1974. The 5th volume. Pp 121-125.
32. Solovyov YI. Courage of academician DN Pryanishnikov // Vestn. Russian Academy of Sciences. 1992. №9. Pp 128-138.
33. Sychev VG. In alliance with the science and practice (50 years of agrochemical service of Russia) // Fertility. 2014. №6 (81). pp 2-5.
34. Timiryazev KA. Fav. cit., vols. 1-4. M.: OGIZ-Selkhozgiz 1948.
35. Shevelukha VS, Nilovskaya NT. The era of academician DN Pryanishnikov and problems of modern systemic biology and biotechnology // Fertility, 2011. №3 (60). pp 5-6.
36. Kalinitchenko V.P. Biogeosystem technique as a contribution to global food sustainability / Kalinitchenko V.P., Batukaev A.A., Zarmaev A.A., Minkina T.M., Starcev V.F., Dikaev Z.S., Magomadov A.S., Jusupov V.U. // 248th ACS National Meeting & Exposition. 13TH IUPAC International Congress Of Pesticide Chemistry. Crop, Environment, and Public Health Protection. Technologies for a Changing World. Co-sponsored by IUPAC and ACS-AGRO. August 10-14, 2014. San Francisco, California, USA. Abstracts. AGRO 143. P. 37.
37. Kalinitchenko V.P. Biogeosystem technique as a method to overcome the Biological and Environmental Hazards of modern Agricultural, Irrigational and Technological Activities / Kalinitchenko V.P., Batukaev A.A., Zinchenko V.E., Zarmaev A.A., Magomadov A.S., Chernenko V.V., Startsev V.F., Bakoev S.U., Dikaev Z.S. // Geophysical Research Abstracts. Vol. 16, EGU2014-17015, 2014. EGU General Assembly 2014. DOI: Vol. 16, EGU2014-17015, Vienna, 2014.
38. Loschakov V.G. Einfluss der langjährigen Stoppelfruchtgrün- und Strohdüngung auf die Fruchtbarkeit von Rasenpodsolböden und den Kornerertrag. Archiv für Acker- und Pflanzenbau und Bodenkunde, 2002. Vol.48. N.6. S. 593-602.
39. Senchenkova E. M. Pryanishnikov Dmitriy Nikolatvich. Complete Dictionary of Scientific Biography, Charles Scribner's Sons. 2008. <http://www.encyclopedia.com/doc/1G2-2830903532.html>
40. Valery I. Glazko, Tatiana T. Galzko. Conflicts of Biosphere and Agroecosystems // International Journal of Environmental Problems, 2015, Vol. (1), Is. 1, pp. 4-16. DOI: 10.13187/ijep.2015.1.4 - <http://www.jbks.ru/archive/issue-1/article-3>

УДК 631.528

К 150-летию со дня рождения Д.Н. Прянишникова

**Значение научно-агрономического наследия  
Д.Н. Прянишникова в развитии земледелия России**

Владимир Григорьевич Лошаков

ВНИИ агрохимии имени Д.Н. Прянишникова, Российская Федерация  
Доктор с.-х. наук, профессор, главный научный сотрудник  
E-mail: LVG36@yandex.ru



**Аннотация.** В статье освещается роль Д.Н. Прянишникова в развитии научной агрономии в нашей стране, большой вклад в развитие теории и практики земледелия и растениеводства. Рассматривается мировоззренческое значение научно-педагогической, публицистической и общественной деятельности Д.Н. Прянишникова как ученого-агронома, ученого-мыслителя глобального масштаба, борца за научно-технический прогресс в земледелии, против антинаучных воззрений и шаблонного подхода в решении научно-агрономических проблем.

Показана его роль в решении задач практического земледелия, имеющих народно-хозяйственное значение в масштабе страны и мира. Это: разработка и пропаганда прогрессивных агротехнологий, теории плодосмена, его внедрение в практику отечественного земледелия; научно обоснованная критика мальтузианства и разработка перспектив развития отечественного земледелия путем его комплексной химизации. Это решительная борьба с шаблонным и повсеместным насаждением травопольной системы земледелия как «панацеи от всех бед»; научное обоснование теории севооборота и причин чередования культур; решение проблемы азотного питания растений, источников биологического и химического азота; прогностические решения и планы биологизации и химизации земледелия. С именем и деятельностью Д.Н. Прянишникова связано создание агрохимической службы в стране; развитие отечественной азотно-туковой промышленности; разработка и рациональное использование месторождений отечественных фосфоритов, калийных солей, известковых материалов, торфа, золы и других как промышленных, так и местных удобрений.

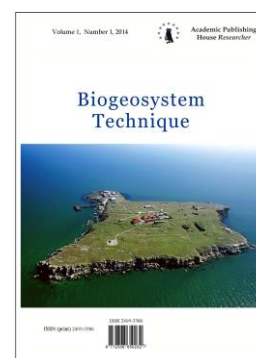
Приводятся результаты многолетних исследований ученых – учеников и последователей Д.Н. Прянишникова, посвященных изучению и внедрению в производство плодосменных севооборотов и систем земледелия, сидерации, зерновой специализации и биологизации земледелия Нечерноземной зоны, реализации многих идей выдающегося учителя. На примере Нечерноземной зоны показана масштабность мышления Д.Н. Прянишникова, его талант исследователя и ученого – организатора, способного успешно решать научные проблемы агрономии и народно-хозяйственные задачи в регионах, и в масштабе страны. Описаны высокие гражданско-патриотические качества личности и мужество Д.Н. Прянишникова, стремление к защите научной истины, коллег – ученых, подвергшихся необоснованным репрессиям в 30-40-е годы прошлого столетия. Показана тесная связь учения Д.Н. Прянишникова с современностью, значение его великого наследия для дальнейшего развития перспективных направлений науки.

**Ключевые слова:** агрономия, агрохимия, растениеводство, азот биологический, зерновая специализация, клевер, люпин, многолетние травы, сидерация, удобрение, плодосмен, промежуточная культура, севооборот, плодородие почвы, система земледелия, урожай.

Copyright © 2015 by Academic Publishing House *Researcher*

Published in the Russian Federation  
Biogeosystem Technique  
Has been issued since 2014.  
ISSN: 2409-3386  
E-ISSN: 2413-7316  
Vol. 5, Is. 3, pp. 232-242, 2015

DOI: 10.13187/bgt.2015.5.232  
[www.ejournal19.com](http://www.ejournal19.com)



## The Science and the Problems of Development

UDC 55

### Soil Structural Stability and Erosion in a Semi-arid Agro-ecosystem

<sup>1\*</sup> A.I. Mamedov  
<sup>2</sup> G.J. Levy  
<sup>3</sup> C. Huang

<sup>1</sup> Institute of Soil Science & Agrochemistry, Institute of Botany, ANAS, Baku, Azerbaijan  
E-mail: amrakhog@yahoo.com

<sup>2</sup> Institute of Soil, Water and Environmental Sciences, ARO, The Volcani Center, Bet Dagan, Israel

<sup>3</sup> USDA-ARS, National Soil Erosion Research Laboratory, Purdue University, West Lafayette, IN, USA

#### Abstract

Soil erosion and subsequent pollution by water from agricultural lands or watersheds is still in need for evaluating of the impacts of various spatio-temporal processes involved. We have summarized the contribution of soil inherent properties (predominant clay mineralogy, soil texture, and organic matter content), and extrinsic conditions (rain kinetic energy [KE], wetting rates [WR], water quality, antecedent moisture contents, tillage intensity, soil sodicity [ESP], amendments) on soil structure deterioration and erosion (runoff and soil loss) from numerous cultivated semi-arid soils. Soil loss from predominant smectitic soils was up to several times higher than from kaolinitic soils. Soil erosion seems to increase exponentially with the increase in rain KE, WR and ESP and decrease in clay content and organic matter. Rain KE and water quality (sealing, physicochemical clay dispersion) prevailed in determining erosion in medium- and coarse-textured soils, and WR (prevention of aggregate slaking) played a predominate role in fine-textured soils. Effects of minimum-tillage were soil texture and irrigation water quality dependent: erosion was notably lower under no-tillage than under conventional one, being more affective in clayey soils with stable structure, for both fresh and effluent water quality. Soils, having moisture content in the range between wilting point and field capacity were less susceptible to runoff generation and erosion. Application of a small amount of polymer in combination with gypsum may effectively decreased soil erosion. Whereas inherent soil properties cannot be changed, conditions prevailing in the soil (WR, moisture content, impact of rain KE) can be manipulated by management practices to arrive at conditions that decrease soil susceptibility to soil erosion and subsequent water quality problems. Results may assist in improving our understanding of the changes in the degree of erosion in semi-arid zone soils, and can be employed in modeling efforts aimed at the prediction of soil erodibility.

**Keywords:** permanent properties and extrinsic conditions, soil system, infiltration, runoff, erosion, modeling

## Introduction

Soil loss by overland flow in agricultural watersheds is a severe problem worldwide because (i) a non-renewable productive soil resource is being lost, and (ii) runoff and eroded sediments are a potential source of both point and non-point pollution that could degrade water quality in river systems and contaminate downstream areas (Sharpley et al., 2006). In many semi-arid lands runoff is initiated or enhanced by seal formation at the soil surface. Soil structure deterioration and seal formation in soils exposed to rain or overhead irrigations systems results from two complementary mechanisms: (i) physical disintegration of surface aggregates and their compaction by the impact of the waterdrops, and (ii) a physico-chemical dispersion and movement of clay and other fine-sized particles down the profile to 0.1–0.5 mm depth, where they may accumulate and clog water conducting pores (Agassi et al., 1981). However in soils which considerable protected with plant residue material, in stable clay or kaolinitic soils, runoff generation and sediment transport could results from saturation of soils (Lado and Ben-Hur, 2004). Such problems are expected to become more severe with climate change (e.g. runoff generation and sediment and pollutant transport under rain with high intensity). Generally, soil interrill erosion by water involves also two main processes: (i) detachment of soil material from the soil mass by waterdrops (commonly raindrops) impact and/or runoff shear, and (ii) transport of the resulting sediment by water drops splash and/or flowing runoff water. Raindrop detachment is greater than flow shear detachment because the kinetic energy of raindrops is much higher than that of surface flow. However, movement of detached soil down slope by rain splash is minimal, and most of the sediments are removed from the interrill area by runoff flow. Meanwhile, under certain management, soil or topographic conditions (disturbed soils, hill slope, soil with high dispersion potential, etc.), runoff flow may be sufficient for soil detachment and transport (Levy et al., 1994; Mamedov et al., 2002; van Oudenhoven et al., 2015).

Results from a large body of research on soil erosion suggests that runoff generation, sediment detachment and transport (i.e. when irrigation water and precipitation rate exceeds the infiltration capacity of the soil, Hortonian runoff sediment transport) may be quiet substantial during high rain-intensity events. Usually, only a portion of the agricultural field or watershed that are susceptible to becoming saturated, generates runoff and erosion and contributes sediments to the streams. Agricultural fields usually exhibit a complex spatial and temporal variability related to soil and management characteristics, and hence serves as variable sources of sediment and pollutant, and hydrologically sensitive areas with a high tendency for generating overland flow, where runoff provides quick transport mechanism for potential pollutants between the landscape and surface water bodies (Walter et al., 2000; Garcia Ruiz, 2010). Therefore watershed-scale erosion and water quality efforts are considered to be focused on those areas that potentially contribute erosion and pollutants after sealing and/or saturation or combination of both (Gburek et al., 2002). Moreover, agricultural management practices also affect soil properties and off-site impacts of agriculture by influencing soil hydraulic characteristic, and sensitivity to runoff, and erosion (Tomer et al., 2006; Rhoton et al., 2002; Canton et al., 2011). Thus, the contribution of these runoff generating sources may increase and decrease depending on spatio-temporal variability, which is associated with agricultural management, soil intrinsic properties and condition (clay type, texture, organic matter, tillage, plant residue, drainage, crop rotation, amendments, antecedent moisture, rain intensity, etc.) (Walter et al., 2000; Sharpley et al. 2006; Norton et al., 2006; Garcia Ruiz, 2010).

The processes that control sediment and dissolved pollutants transport could differ, but are however linked; pollutants are susceptible to transport whenever runoff water flows through or from an area loaded with pollutants (Qui et al., 2007). Most of the currently used risk assessment models, cannot adequately handle the complexity of the conditions prevailing in the field, probably at least in part due to lack of understanding of how soil properties and conditions prevailing in the field affect soil structure decline, runoff generation in a watershed, and the subsequent transport of sediments and chemicals (Gburek et al., 2002; Sharpley et al., 2006; Mamedov et al., 2006). Our **objective** was to evaluate in a systematic manner the combined effects of semi-arid soils permanent properties and conditions on runoff generation and erosion, so that to gain a better insight into this complex topic and develop suitable management practices to minimize loss of sediments and/or transport of nutrients having a significant pollution potential.

## Materials and Methods

The contribution of soil inherent properties and extrinsic conditions (Israel and USA) on soil erosion was studied systematically in many cases using rainfall simulators. A detailed description of the experimental setup can be found in various studies (Mamedov et al, 2000). Soil inherent properties that were studied include: (1) predominant clay mineralogy (kaolinitic, illitic and smectitic); (2) soil texture (4-6 typical textural classes from sandy to heavy clay); and (3) organic matter content (e.g. tillage and or management contribution). Extrinsic conditions that were evaluated include: (1) 4-5 levels of rain kinetic energy (KE, 0-22 kJ/m<sup>3</sup>); (2) 3-4 wetting rates (WR) of dry soil by rainfall and irrigation water; (3) water quality (rain, fresh, waste or saline water); (4) 4-8 antecedent moisture contents (from dry to full saturation) combined with different aging (timing) durations between consecutive wettings; (5) tillage intensity (conventional and minimum-tillage); and (6) soil sodicity, and use of soil amendments (polymer, gypsum). A multifactor analysis of variance (ANOVA) procedure was performed (SAS Institute 1995) to compare the effect of treatments or factors and their interactions on runoff and erosion. Treatment mean comparisons were made by employing the Tukey-Kramer HSD test using a significance level of 0.05 (SAS Institute 1995).

## Results and Discussion

### *Predominant clay mineralogy*

The main cause for the decrease in soil infiltration under rainfall conditions in arid and semi-arid regions is seal formation at the soil surface. Clay mineralogy was recognized as a dominant factor in controlling soil structure stability, hydraulic properties, and hence formation of seal, runoff generation and erosion (Stern et al., 1991; Lado and Ben Hur, 2004, Reichert et al., 2009; Mamedov et al., 2010). Studies using South African and Israeli soils showed that loss of sediments from predominant smectitic soils was up to ten times higher than from predominant kaolinitic soils, not containing smectite (Fig. 1). Soil clay mineralogy affects the physicochemical dispersion of the clay and the physical disintegration of soil aggregates, which is greater in soils with a smectitic clay mineralogy with a greater sensitivity to dispersion and aggregate breakdown during wetting. Kaolinitic and illitic soils which do not contain smectite are stable soils, and their structural stability is controlled mainly by stabilizing agents such as organic matter or oxides (Fig. 2). However, results of the susceptibility of numerous phyllosilicate soils to runoff and interrill erosion showed that kaolinitic and illitic soils that contain some smectitic impurities could be more susceptible to seal formation, but still more stable than smectitic soils (Lado and Ben-Hur, 2004; Norton et al., 2006). Based on clay mineralogy, soil ranking with respect to their sensitivity to runoff generation and erosion is in the following order: smectitic > illitic > kaolinitic soils (Figs. 1 and 2).

### *Soil texture and wetting condition*

The combined effects of soil texture and the rate of wetting (WR, 2 -64 mm h<sup>-1</sup>) of the soil prior to exposing it to rainfall on soil erosion from five typical Israeli semi-arid smectitic soils exhibiting a wide range of clay content (8-60%) is presented in Figure 3. Soil loss and total runoff seem to depend on soil clay content and wetting conditions (Levy et al., 1997; Mamedov et al., 2001; Levy and Mamedov, 2002). The soils with intermediate clay content (20-40% clay) were the most susceptible to soil loss (Fig. 3). The WR had a marked effect on runoff and soil loss, showing that the use of slow WR (e.g. simulation of drip irrigation, residue cover) prevents aggregate slaking and decreases runoff and erosion considerable in soils exposed to high KE rain. The effect of WR on runoff and soil loss increased noticeably with the increase in clay (>40%) content (Figs. 3 and 4).

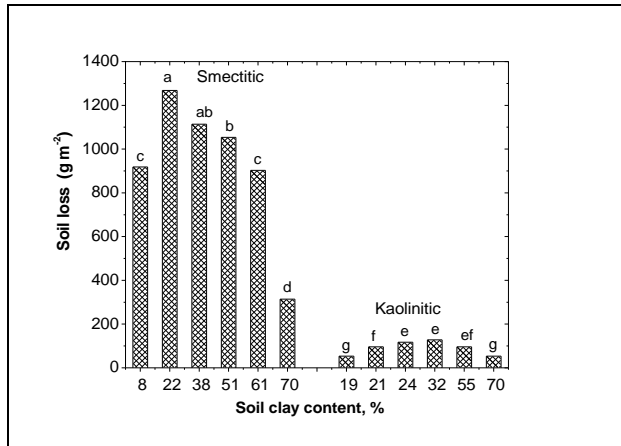


Fig. 1. Clay mineralogy effects on soil loss (from Stern et al, 1991 and Mamedov et al., 2002). Bars labeled with the same letter are not significantly different at  $P < 0.05$  level.

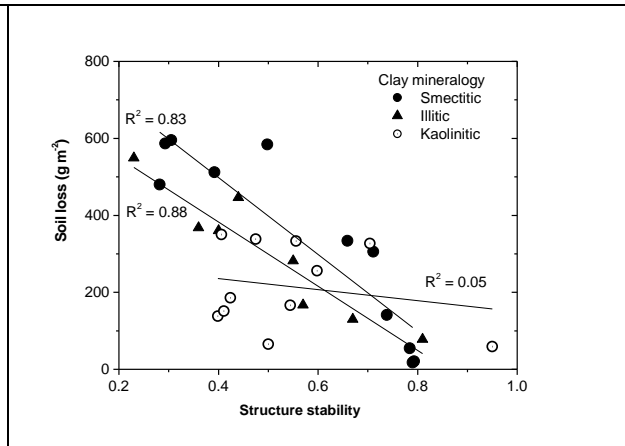


Fig. 2. Soil loss vs. structure stability for soils with different clay mineralogy (from Norton et al., 2006)

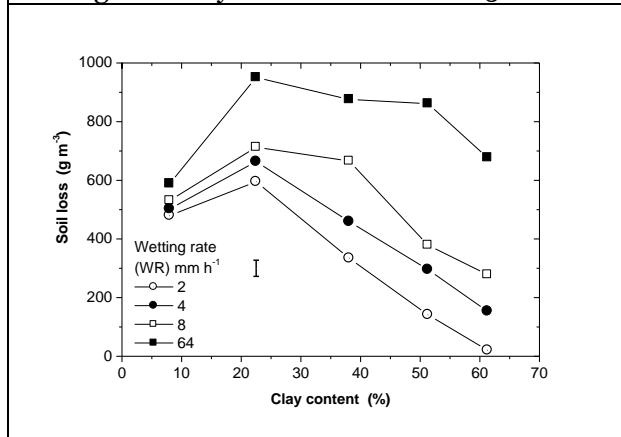


Fig. 3. Soil loss as affected by clay content and wetting rate (from Mamedov et al., 2001). The bar indicates single confidence interval at  $P < 0.05$

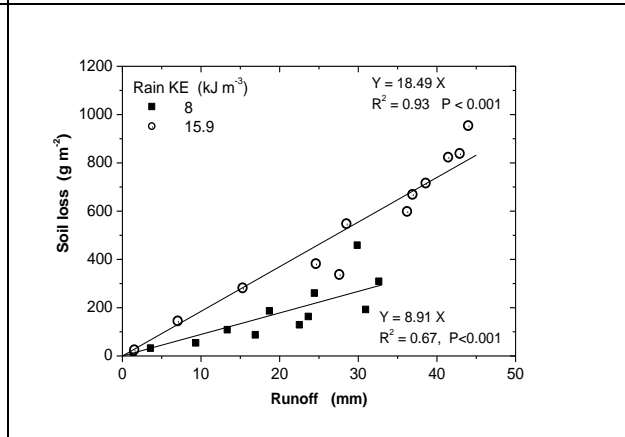


Fig. 4. Relationship between soil loss and runoff for two rain kinetic energy levels (Shainberg et al., 2003).

The relationship between soil loss and runoff could be described by the linear function, which indicates that most of the eroded soil was generated and transported by runoff water (Fig. 4). The observed enrichment of the eroded material by clay-size particles relative to the parent soil material and its dependence on WR and hence on the degree of aggregate slaking under rainfall (Warrington et al., 2009), emphasizes the importance of protecting surface soil aggregates from breaking down during rainstorms (minimum tillage, residue material, etc.), as well as stresses the hazard of eroded sediments serving as a potential source of pollution, degrading water quality in river systems and contaminating downstream areas (Levy et al., 1997; Mamedov et al., 2001; Shainberg et al, 2003; Smith et al., 2005). It should however be noted that, unlike smectitic soils, for predominantly kaolinitic soils the effects of soil texture and wetting condition on soil structure and hence soil loss were not consistent (Norton et al., 2006; Mamedov et al., 2010).

### Rain kinetic energy

The effects of rain kinetic energy (KE) on runoff and interrill erosion from four cultivated Israeli soils are presented in Figures 5 and 6. For all the soils, runoff and interrill erosion increased with an increase in rain KE (Mamedov et al., 2000), however the shape of runoff (logarithmic) and soil loss (exponential) curves were different (Figs. 5 and 6). Changes in rain KE led to changes in runoff mainly in the low to moderate rain KE range ( $< 8 \text{ kJ m}^{-3}$ ), whereas for interrill erosion this change took place in the medium to high rain KE range ( $> 12 \text{ kJ m}^{-3}$ ). This phenomena highlights the intricate relationship between runoff and soil loss, and suggests that seal formation was already

completed at medium rain KE and therefore the contribution of runoff in facilitating transport for the entrained material is only secondary to the role of soil detachment in determining soil loss (Mamedov et al., 2000). The contribution of rain KE and WR on runoff and soil loss depended on clay content. In the coarse textured soils (e.g. loam) the effect of rain KE was significant, and the effect of WR was small. Conversely, in the fine textured soils (e.g. clay) the effect of WR on was significant and the effect of rain KE was negligible (Figs. 3-6).

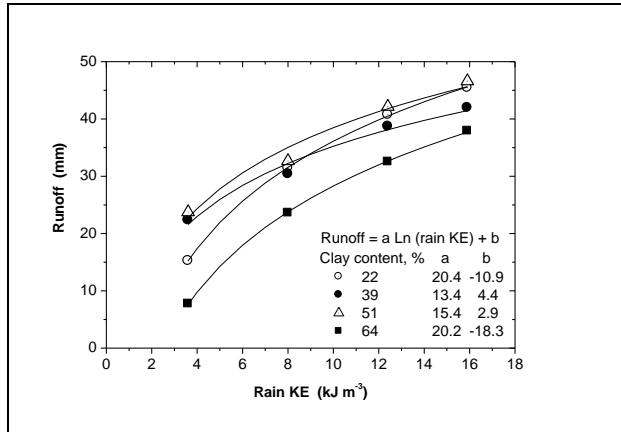


Fig. 5. Runoff as a function of rain kinetic energy and soil texture (Mamedov et al., 2000)

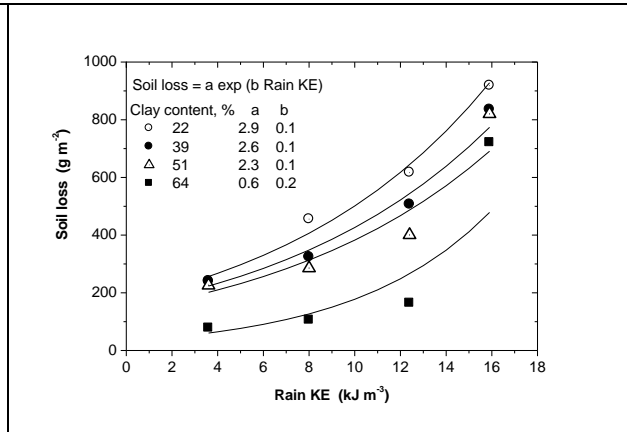


Fig. 6. Soil loss as a function of rain kinetic energy and soil texture (Mamedov et al., 2000)

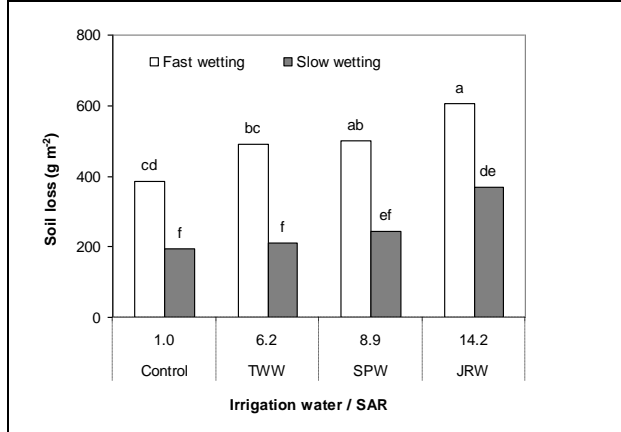


Fig. 7. Total soil loss for the different water quality (SAR) treatments: TWW, treated wastewater; SPW, spring water; JRW, Jordan River water. Bars labeled with the same letter are not significantly different at  $P < 0.05$  level (from Mandal et al., 2008).

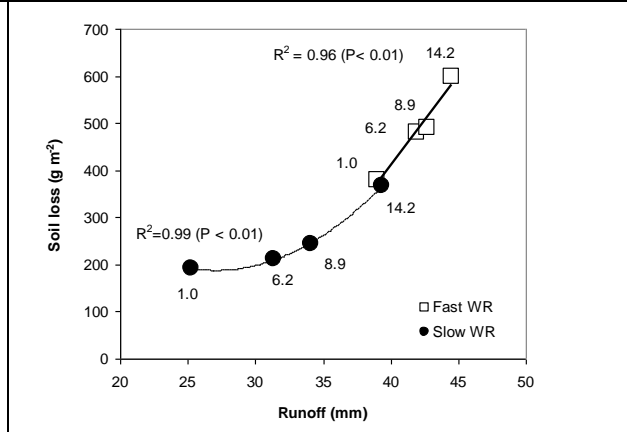


Fig. 8. Total soil loss as a function of total runoff for two wetting condition. Numbers next to plotted points indicate the SAR relevant to the irrigation water (from Mandal et al., 2008).

### Water quality

Effects of irrigation water quality on silty clay soil loss (Fig. 7) were tested on a irrigated with either treated waste water (TWW), saline-sodic Jordan River water (JRW), or moderately saline-sodic spring water (SPW). Irrigation with TWW had a consistently more favorable effect on runoff and soil loss than irrigation with the saline-sodic JRW and SPW water (Fig. 7). The results suggest that replacing saline-sodic irrigation water by TWW, with significantly lower salinity and sodicity levels, may prove beneficial in improving soil structural stability and could also mitigate problems associated with high levels of runoff and soil erosion, particularly in regions of low to moderate rainfall intensities (Mandal et al., 2008). For fast wetted samples, the linear relation between erosion and runoff, suggests that erosion is most likely limited by the carrying capacity of the runoff water (Mamedov et al., 2002). Conversely when slow wetting is used and little or no aggregate slaking occurs, the amount of available smaller sized erodible soil material is limited, soil

susceptibility to detachment by raindrop impact and runoff flow becomes greater in an exponential manner with the increase in irrigation water SAR or soil sodicity (Fig.8).

**Tillage (organic matter)**

Effects of tillage intensity on soil loss (conventional tillage [CT] in field crop and no-till [NT] in field crop or minimum tillage [NT] in orchards irrigated with fresh and treated effluent) are presented in Figures 9 and 10. Organic matter content was notable higher in the NT soils than the CT soils. Infiltration rate always were higher under NT than CT soil and the effect was more substantial in soils with high clay content (Fig. 11). Consequently, runoff and soil loss levels under NT were significantly lower than those under CT irrespective of irrigation water quality (Figs. 9 and 10). Moreover soil loss was similar for soils irrigated with fresh water and treated effluent in the NT samples taken from the orchard, thus suggesting that reduced tillage improves the structure of soils irrigated with treated effluent too, and enhances soils aggregate resistance to raindrop impact. Conversely for the intensely tilled field crop section (CT), soil loss was greater in the effluent irrigated soil than in the fresh water irrigated one, signifying that tilled soils have greater sensitivity to erosion, particularly under effluent water quality, due to elevated sodicity and dispersity levels in the effluent irrigated soils (Fig. 10).

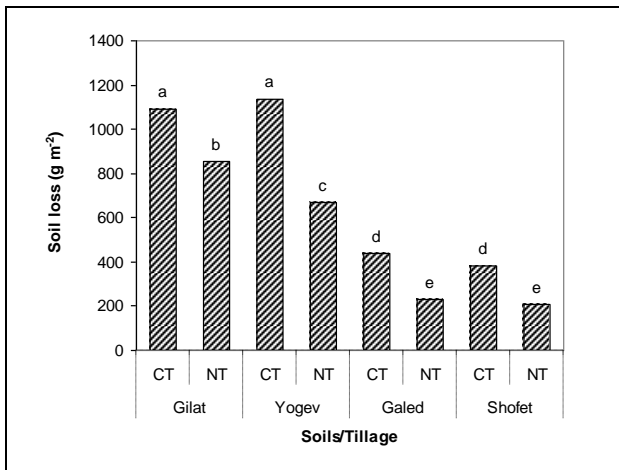


Fig. 9. Effect of tillage intensity on soil loss. Gilat is a loam, and other soils are clay soils. Bars labeled with the same letter are not significantly different at  $P < 0.05$  level.

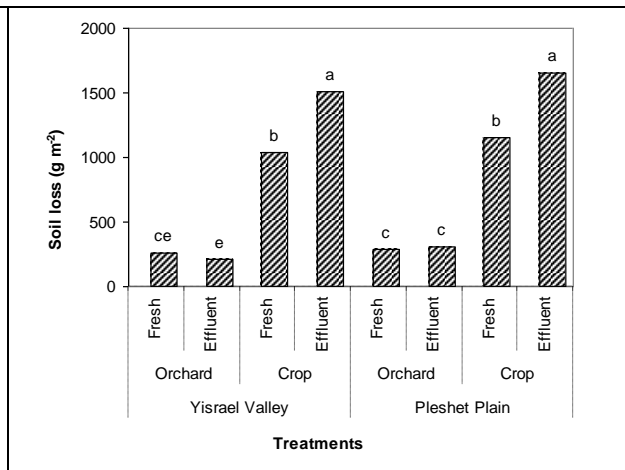


Fig. 10. Soil loss as affected by tillage intensity and water quality for a clay soil (Yisreel valley) and a sandy clay (Pleshet Plain). Bars labeled with the same letter are not significantly different at  $P < 0.05$  level

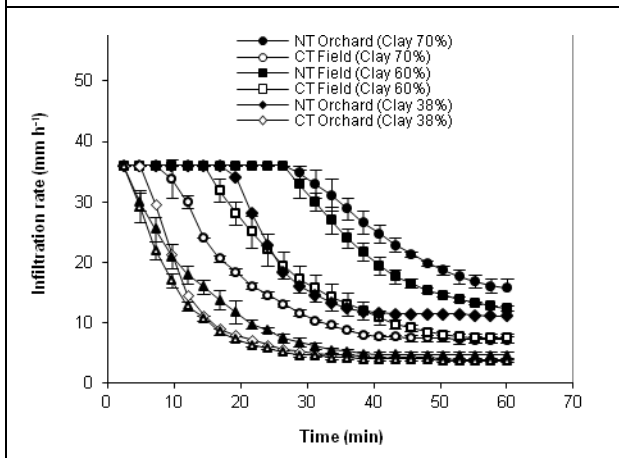


Fig. 11. Infiltration rate as affected by tillage type. Mizra is clay and Shofet is clayey soils and Gilat is a loam. Bar indicate one standard error.

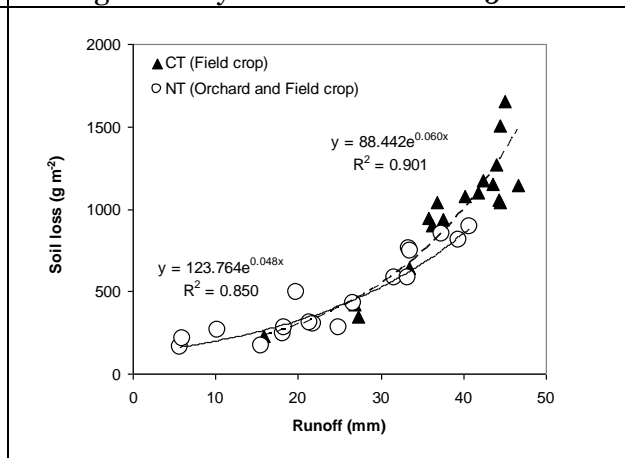


Fig. 12. Soil loss as a function of runoff for intensive tillage (CT) and minimum tillage (NT).



The relationship between soil loss and runoff for both types of tillage were exponential with considerable higher range of runoff and soil loss in CT soils (Fig. 12), showing that under our experimental conditions where mostly stable clay soils were used (i) a similar mechanism but with different intensity (exponent) was operating for both tillage, and (ii) aggregate breakdown by irrigation water, detachment and transport by the rain impact is diminished, but carrying capacity of the runoff was not the limiting factor for soil loss, particularly under NT condition for both water quality and cropping. For coarse textured soils effect of NT was a less evident. Soil structure stability and thus erosion do not only depend on soil texture and organic matter content, but also on the conditions that prevail in the field. Intensive cultivation escalated runoff and soil loss (Figs. 9-12) because it causes a periodical mechanical disruption of soil aggregates, a deterioration in soil structure an increase in the rate of soil organic matter decomposition and affects microbial activity (Norton et al., 2006) all of which result in greater amounts of dispersed clay, i.e. making the soil more susceptible to raindrop impact and erosion.

#### ***Antecedent moisture content and aging***

The combined effects of two different surface conditions, i.e., antecedent moisture content (AMC) and aging duration, on runoff and erosion from 4 smectite Israeli soils are presented in Figures 13 and 14. The results reveal the existence of an optimal range of AMC (matric potential,  $pF = 2.4-4.2$ , between wilting point and field capacity) at which runoff and erosion levels are lower by up to 30%, than those obtained at AMC levels above or below the optimal range. Increasing aging (e.g. time between wetting the soil) duration (from 0 day to 7 ay) resulted in a 15-30% decrease in runoff and soil loss at this optimal AMC range in comparison to no aging; effects of aging at optimal AMC on runoff and soil loss were of greater magnitude in clay soils (Figs. 13 and 14). A similar manner at which runoff and soil loss decreased with the increase in aging duration at the optimal AMC range was noted, thus indicating that, for the given experimental conditions, runoff was the main precursor for soil loss (Levy et al., 1997; Mamedov et al., 2006). The combined favorable impact of AMC and aging on improving soil stability was associated with water-filled pores that were of the size range belonging to the clay fabric. Clay movement and reorientation have, therefore, been considered as key factors in the development of cohesive forces between and within soil particles during aging at optimal AMC levels (Mamedov et al., 2006).

#### ***Sodicity***

The combined effects of sodicity (ESP 2-20) and soil texture (loamy sand to heavy clay) on erosion of 24 cultivated Israeli soils are presented in Figure 15. Soil loss increased with the increase in sodicity (ESP) with the magnitude of the effects depending on clay content (Fig.15). An exponential type relation between erosion and runoff was observed (Fig.16), whereas for non sodic soils ( $ESP < 2$ ) this relationship was linear (Fig. 4). Increase of sodicity (from ESP 2 to ESP 20) increased the physico-chemical clay dispersion and weakens aggregates and therefore increases runoff and soil loss by more than 2-4 times. Under high KE rain and fast wetting the surface aggregates are exposed to both types of force (i.e., slaking by wetting and detachment by high raindrop impact and by the subsequently formed runoff). Thus, the noted exponential relationship (Fig. 16) was ascribed in the sodic soils to high volume and velocity of runoff water that can initiate rill erosion which supplements detachment by raindrops in markedly increasing erosion (Levy et al., 1994; Mamedov et al., 2002).

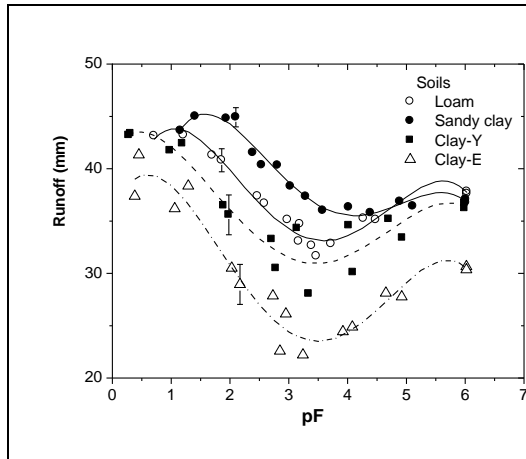


Fig. 13. Effect of antecedent moisture content (pF) on runoff in 3-7 day aging duration. The bar indicate single confidence interval (from Mamedov et al., 2006).

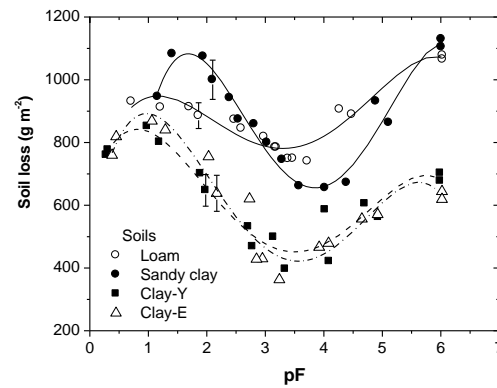


Fig. 14. Effect of antecedent moisture content (pF) on soil loss in 3-7 day aging duration. The bar indicate single confidence interval (from Mamedov et al., 2006).

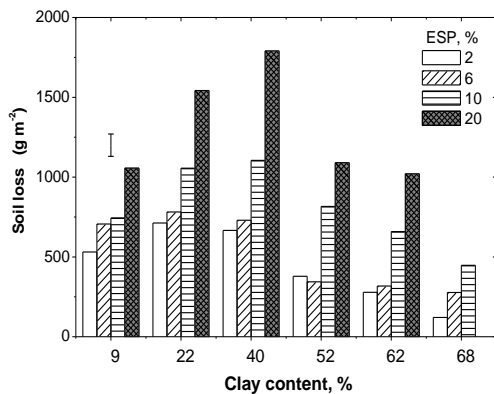


Fig. 15. Soil loss as affected by soil sodicity for a range of soil texture (from Mamedov et al., 2002). Bar indicate single confidential interval.

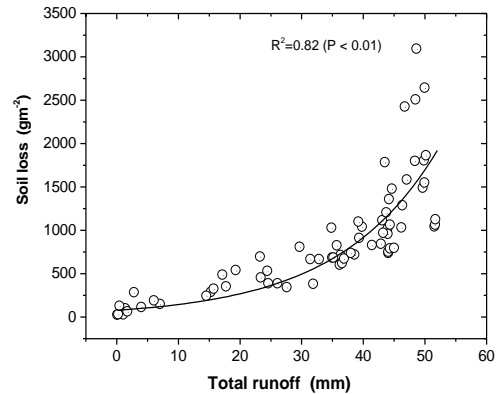


Fig. 16. Soil loss as a function of runoff (from Mamedov et al., 2002) for a range of soil texture and four sodicity level (see Figure 15).

### Amendments

The effects of surface application of two anionic polyacrylamides (PAMs), varying in their molecular weight (MW, moderate-M and high-H), in combination with posphogypsum (PG), on seal formation, runoff, and soil erosion in 5 Israeli smectitic soils varying in texture was studied by Mamedov et al. (2009). The two PAMs maintained runoff and soil loss levels that were lower, than those obtained in either the control or PG alone treatments (Figs. 17 and 18). Both PAMs, mixed with PG, increased soil structure stability and hence final IR by 3 to 5 times (data not presented) and reduced runoff and erosion by 2 to 4 times relative to the control (Fig. 17). However, PAM (M) treatments yielded lower levels of runoff and soil erosion compared with the PAM (H) one, that were ascribed to its lower viscosity when in solution. Effect of soil amendments on soil erosion were more notable in course texture soils (Fig.17), whereas an effect of wetting condition were considerable higher in fine textured soils (Fig.3), showing that in soils with <40% clay, prevention of physicochemical clay dispersion (e.g., by gypsum application) is preferable for controlling soil erosion, whereas in clay soils, prevention of aggregate slaking during the wetting process of the soil emerged as a more beneficial management (Figs.3 and 17).

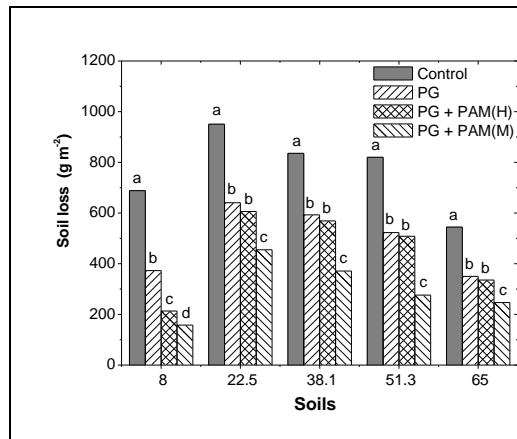


Fig. 17. Total soil loss as a function of the treatments for the 5 soils. Within a soil type, bars labelled with the same letter are not significantly different at  $P < 0.05$  level. Control; PG, phosphogypsum (4 Mg/ha); PAM(H) and PAM(M) polyacrylamide with high and moderate molecular weight (20 kg/ha) respectively, (from Mamedov et al., 2009)

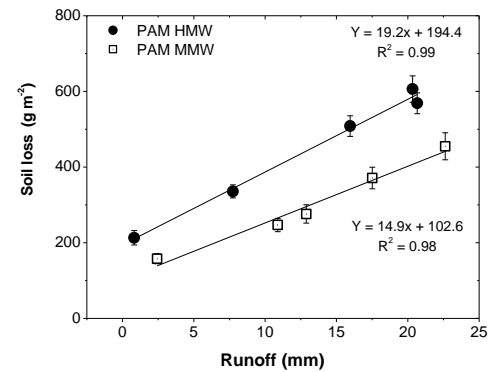


Fig. 18. Total soil loss as a function of cumulative runoff for the soils treated with 2 types of PAM. PAM(H), polyacrylamide with high molecular weight (20 kg/ha); PAM(M), polyacrylamide with moderate molecular weight (20 kg/ha); each PAM was mixed with PG, phosphogypsum (4 Mg/ha); Bars indicate 1 standard error (from Mamedov et al., 2009).

## Conclusion

Cultivated fields exhibit usually a complex spatio-temporal variability of soil characteristics, i.e. soil properties and conditions (affected by management, irrigation and rain water regime or characteristics, etc.). Our review of published literature suggests that factors and mechanisms controlling upslope soil erosion are complex and depend on various processes. Generally, runoff generation and soil erosion increased exponentially with the increase in rain KE and soil WR. Rain KE and water quality played a predominate role in determining soil loss in medium- and coarse-textured soils (2-40% clay), while WR played a predominate role in fine-textured soils (40-70% clay). Soils from semi-arid regions, particularly clay soils, having moisture content in the range between wilting point and field capacity (pF 2.7-4.2), generate low levels of runoff and sediments. In soils with <20-40% clay, prevention of physicochemical clay dispersion (e.g., by gypsum and PAM application) is preferable for controlling soil erosion, whereas in clay soils, prevention of aggregate slaking during the wetting process of the soil could be more beneficial. Application of a small amount of polymer in combination with gypsum may effectively decrease soil loss by to 2-4 times relative to the control, mostly in smectitic soils.

The reviewed results indicate that effects of WR on soil loss depended on soil clay content and mineralogy, thus making the task of predicting soil susceptibility to erosion even more complicated. Most erosion models consider only soil inherent properties (mainly texture) in the computation process of soil erosion. To improve the prediction capabilities of models (such as WEPP), soil type and conditions before erosive rainstorms such as clay mineralogy, AMC, wetting should be considered and incorporated in process-based erosion models. Though inherent soil properties cannot be changed, conditions prevailing in the soil can be manipulated by changing management practices (e.g., tillage intensity, irrigation water quality, use of amendments and plant residue materials, manipulation of soil moisture level, etc.) to reach at conditions that decrease soil susceptibility to soil erosion. Our results can assist in understanding the changes in the degree of erosion, sediment and chemical transport, and thus potential water quality concerns in soils and could be useful for modeling efforts aimed at the prediction of soil erodibility.

## References:

1. Agassi M, I. Shainberg, and J. Morin. 1981. Effect of electrolyte concentration and soil sodicity on infiltration rate and crust formation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48: 848–851.

2. Canton Y., A. Sole-Benet, J. de Vente, C. Boix-Fayos, A. Calvo-Cases, C. Asensio, J. Puigdefabregas. 2011. A review of runoff generation and soil erosion across scales in semiarid south-eastern Spain. *J. Arid Environ.* 75: 1254-1261.
3. Garcia Ruiz, J.M. 2010. The effects of land uses on soil erosion in Spain: A review. *Catena*, 81, 1–11.
4. Gburek, W.J., C.C. Drungil, M.S. Srivivasan, B.A. Needelman, D.E. Woodward. 2002. Variable-source area controls on phosphorus transport: Bridging the gap between research and design. *J. Soil and Water Conserv.* 57:534-543.
5. Greene, R.S. B., and P.B. Hairsine. 2004. Elementary processes of soil-water interaction and thresholds in soil surface dynamics: A review. *Earth Surface Processes and Landforms.* 29: 1077 – 1091.
6. Lado, M, and M. Ben-Hur. 2004. Soil mineralogy effects on seal formation, runoff and soil loss. *Appl. Clay Sci.* 248:209–224.
7. Levy, G. J., J.L. Levin, and I. Shainberg. 1994. Seal formation and interrill soil erosion. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 58:203–209.
8. Levy, G.J., J. Levin, and I. Shainberg. 1997. Prewetting rate and aging effects on seal formation and interrill soil erosion. *Soil Sci.* 162: 131-139.
9. Levy, G.J., A.I. Mamedov, and D. Goldsteins 2003. Sodicity and water quality effects on slaking of aggregates from semi-arid soils. *Soil Science* 168:552-562.
10. Mandal U.K., A.K. Bhardwaj, D.N. Warrington, D. Goldstein, A. Bar Tal, and G.J. Levy. 2008. Changes in soil hydraulic conductivity, runoff, and soil loss due to irrigation with different types of saline-sodic water. *Geoderma* 144: 509-516.
11. Mamedov, A.I., I. Shainberg, and G.J. Levy. 2000. Rainfall energy effects on runoff and interrill erosion in effluent irrigated soils. *Soil Sci.* 165: 535-544.
12. Mamedov, A.I., I. Shainberg, and G.J. Levy. 2001. Irrigation with effluents: effects of prewetting rate and clay content on runoff and soil loss. *J. Env. Qual.* 30: 2149-2156.
13. Mamedov, A.I., I. Shainberg, and G.J. Levy. 2002. Wetting rate and sodicity effects on interrill erosion from semi arid Israeli soils. *Soil Till. Res.* 68: 121-132.
14. Mamedov, A.I., C. Huang, and G.J. Levy. 2006. Antecedent moisture content and aging duration effects on seal formation and erosion in smectitic soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70: 832-843.
15. Mamedov, A.I., I. Shainberg, L.E. Wagner, D.N. Warrington, and G.J. Levy. 2009. Infiltration and erosion in soils treated with dry PAM, of two molecular weights, and phosphogypsum. *Aust. J. Soil Res.* 47: 788-795.
16. Mamedov A.I. L.E. Wagner, C. Huang, L.D. Norton, and G.L. Levy. 2010. Polyacrylamide effects on aggregate and structure stability of soils with different clay mineralogy. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 74: 1720-1732.
17. Norton, L.D., A.I. Mamedov, C. Huang, G.J. Levy. 2006. Soil aggregate stability as affected by long-term tillage and clay type. *Adv. in GeoEcology* 38: 422-429
18. Qui, Z, M.T. Walter, and C. Hall. 2007. Managing variable source pollution in agricultural watersheds. *J. Soil Water Conservat.* 63: 115-122.
19. Reichert, J.M., L.D. Norton, N. Favaretto, C. Huang, and E. Blume. 2009. Settling velocity, aggregate stability, and interrill erodibility of soils varying in clay mineralogy. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 73:1369–77.
20. Rhoton, F.E., M.J. Shipatalo, and D.L. Limbo. 2002. Runoff and soil loss from Midwestern and southeastern US silt loam soils as affected by tillage practice and soil organic matter content. *Soil Tillage Res.* 66:1–11.
21. Shainberg, I., A.I. Mamedov, and G.J. Levy. 2003. The role of wetting rate and rain energy in seal formation and interrill erosion. *Soil Sci.* 168: 54-62.
22. Sharpley, A.N., T. Daniel, G. Gibson, L. Bundy, M. Cabrera, T. Sims, R. Stevens, J. Lemunyon, P.J. Kleinman, and R. Parry. 2006. Best management practices to minimize agricultural phosphorus impacts on water quality. *Agricultural Research Service Publication.* 52 p.
23. Smith, D.R., Haggard, B.E., Warnemuende, E.A. and Huang, C. 2005. Sediment phosphorus dynamics for three tile fed drainage ditches in Northeast Indiana. *Agric. Water Manag.* 71, 19–32.
24. Stern, R., M. Ben-Hur, and I. Shainberg. 1991. Clay mineralogy effect on rain infiltration, seal formation and soil losses. *Soil Sci.* 152, 455-462.

25. Tomer, M. D., C. A. Cambardella, D. E. James, and T. B. Moorman. 2006. Surface-soil properties and water contents across two watersheds with contrasting tillage histories. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70: 620-630.

26. Van Oudenhoven A.P.E., C.J. Veerkamp, R. Alkemade, R. Leemans. 2015. Effects of different management regimes on soil erosion and surface runoff in semi-arid to sub-humid rangelands. *J. Arid Environ.* 121: 100-111.

27. Walter, M.T., M.F. Walter, E.S. Brooks, T.S. Steenhuis, J. Boll, and K.R. Weiler. 2000. Hydrologically sensitive areas: variable source area hydrology implications for water quality risk assessment. *J Soil Water Conservat.* 3:277-284.

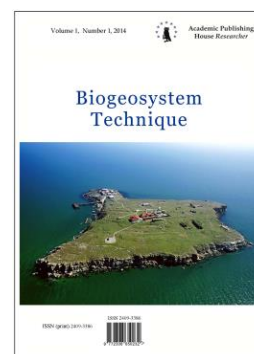
28. Warrington, D.N., A.I. Mamedov, A.K. Bhardwaj, and G.J. Levy. 2009. Primary particle size distribution of eroded material affected by degree of aggregate slaking and seal development. *Eur. J. Soil Sci.* 60: 84-93.

Copyright © 2015 by Academic Publishing House *Researcher*



Published in the Russian Federation  
Biogeosystem Technique  
Has been issued since 2014.  
ISSN: 2409-3386  
E-ISSN: 2413-7316  
Vol. 5, Is. 3, pp. 243-255, 2015

DOI: 10.13187/bgt.2015.5.243  
[www.ejournal19.com](http://www.ejournal19.com)



### Articles and Statements

UDC 575.174.015.3+ 636.01 + 636.082.1/2

#### Multilocus Genotyping of Cattle Using Highly Polymorphic Genomic Elements (Microsatellites, DNA Transposon Helitron)

<sup>1</sup> Anna V. Babii  
<sup>2</sup> Svetlana N. Kovalchuk  
<sup>3</sup> Tatiana T. Glazko  
<sup>4</sup> Gleb Yu. Kosovskii  
<sup>5</sup> Valery I. Glazko

<sup>1-5</sup> Federal State Budget Scientific Institution Center of Experimental Embryology and Reproductive Biotechnologies, Moscow, Russian Federation

<sup>3, 5</sup> Federal State Educational Institution of Higher Education Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

<sup>1</sup> Junior researcher

E-mail: [anna.babii@yahoo.com](mailto:anna.babii@yahoo.com)

<sup>2</sup> PhD of Biological Sciences, leading researcher

E-mail: [s.n.kovalchuk@gmail.com](mailto:s.n.kovalchuk@gmail.com)

<sup>3</sup> Dr. of Agricultural Sciences, professor senior researcher

E-mail: [tglazko@rambler.ru](mailto:tglazko@rambler.ru)

<sup>4</sup> Dr. of Biological Sciences, professor, director

E-mail: [gkosovky@mail.ru](mailto:gkosovky@mail.ru)

<sup>5</sup> Dr. of Agricultural Sciences, professor, senior researcher

E-mail: [vglazko@yahoo.com](mailto:vglazko@yahoo.com)

#### Abstract

A multi-locus genotyping of one beef cattle breed (the Kalmyk breed) and two factory breeds of dairy cattle (the Ayrshire breed and the holsteinized Black-and-White cattle) was conducted. We used as primers in a polymerase chain reaction the consensus sequence of 3'-flank of *Heligloria* family helitrons, in combination with trinucleotide microsatellites (AGC) <sub>6</sub>G and (GAG) <sub>6</sub>C, respectively. The obtained data shows that the most "rich" spectra of amplification products is specific to the representatives of the local Kalmyk breed and the holsteinized Black-and-White cattle; the least amount of amplicons has been revealed in the representatives of the Ayrshire breed. The nucleotide sequences homologous to helitron regions and (AGC) <sub>6</sub>G microsatellite are found more often in the genome of the holsteinized cattle than the DNA sequences of the transposon helitron that are localized in alternate DNA strands. This indicates at some association between genomic localization of helitrons and the (AGC) <sub>6</sub>G microsatellite in this group of animals. The findings suggest the possibility of using the consensus sequence of the 3' flank of *Heligloria*

helitrons together with the trinucleotide microsatellites (AGC)<sub>6</sub>G and (GAG)<sub>6</sub>C, respectively, for multi-locus genotyping and detection of genetic differentiation of the three breeds of cattle.

**Keywords:** genome, genome scanning, cattle, transposons, helitron, microsatellites.

### Введение

В последние годы, в связи с известными изменениями глобальных климатических и экологических условий разведения животных сельскохозяйственных видов, увеличивается необходимость разработки новых геномных технологий полилокусного генотипирования животных (геномного сканирования), позволяющих сравнивать и выявлять множественные генотипы и гаплотипы по большому количеству геномных элементов в целях разработки генетически обоснованных программ их сохранения и увеличения эффективности использования [8, 22]. Очевидно, что для решения задач полилокусного генотипирования необходим подбор геномных элементов, представленных в геноме множественными копиями и отличающихся относительно повышенным полиморфизмом.

Особой интерес привлекают маркеры полиморфизма геномных участков, связанных с микросателлитными локусами, но представляющие их определенную часть с известными структурными особенностями – микросателлиты, имеющие в одной цепи инвертированные повторы, расположенные на относительно коротком расстоянии (150-2000 пар нуклеотидов) друг от друга. Этот метод был разработан достаточно давно [24], получил название метода геномных ISSR – PCR маркеров (ISSR – inter-simple sequence repeat) которое на русском языке переводится как межмикросателлитный полиморфизм. Это название не совсем точно отражает особенности маркеров, поскольку особую важность имеет тот факт, что в полимеразной цепной реакции идет амплификация коротких участков ДНК, заключенных между инвертированным повтором того микросателлита, который используется в качестве праймера. Наличие инвертированного повтора на флангах на относительно коротких расстояниях свидетельствует о том, что эти фрагменты предрасположены к формированию таких неканонических структур ДНК, как петли, которые достаточно давно обсуждаются как один из регуляторных элементов, участвующих в регуляции транскрипции, репликации и рекомбинаций [19].

Ранее нами было показано, что такие ISSR – PCR маркеры, полученные с применением в полимеразной цепной реакции (ПЦР или PCR) в качестве праймеров участков микросателлитных локусов, в частности, (AGC)<sub>6</sub>G и (GAG)<sub>6</sub>C, оказываются эффективными для выявления межпородных различий у местных и заводских пород крупного рогатого скота [5-7].

Другим высоко мобильным генетическим элементом, принимающим участие даже в горизонтальном обмене генетическим материалом, является ДНК транспозон хелитрон. Суперсемейство хелитронов представляет группу ДНК транспозонов, реплицирующихся по механизму «катящегося кольца» похожему на репликацию одноцепочечных ДНК-вирусов [15, 16]. Хелитроны активно участвуют в горизонтальном переносе генов между отдаленными таксонами [9, 11, 21, 23]. Ранее нами была показан достаточно высокий уровень полиморфизма геномных участков, фланкированных инвертированным повтором идентификационной нуклеотидной последовательности хелитронов, перспективность такого подхода для полилокусного генотипирования в популяционно-генетических исследованиях генофондов древних и современных овцебыков [1], а также для оценки консолидированности разных пород крупного рогатого скота [2, 3]. В то же время, применение в ПЦР только одного праймера (в ISSR-PCR – фрагмента микросателлита, хелитрона – его идентификационной последовательности), может увеличивать вероятность ошибок отжига и сложность анализа спектров продуктов амплификации. В этой связи, в настоящей работе выполнен сравнительный анализ результатов полилокусного генотипирования трех пород крупного рогатого скота с применением в ПЦР в качестве праймера консенсусной последовательности 3'-конца хелитронов семейства *Heligloria* [21] в комбинации с тринуклеотидными микросателлитами (AGC)<sub>6</sub>G и (GAG)<sub>6</sub>C, соответственно, и обсуждена возможность их практического использования в качестве маркеров для описания генетических профилей групп животных исследуемых пород. Выполнен также сравнительный анализ связи частоты встречаемости локализации на коротких расстояниях (100 – 2000 пар нуклеотидов) идентификационной последовательности хелитронов в



альтернативных цепях ДНК и их колокализации с соответствующими фрагментами микросателлитов (AGC)<sub>6</sub>G и (GAG)<sub>6</sub>C.

### Материалы и методы

Выполнено полилокусное генотипирование КРС местной калмыцкой породы мясного направления продуктивности (30 коров, ООО «Агрофирма Уралан», Калмыкия) и двух заводских пород молочного направления продуктивности: айрширской породы (15 коров, ЗАО «Московский конный завод № 1») и черно-пестрого голштинизированного скота (4 коровы, ЗАО «Можайский»; 10 коров, ОАО «Имени Куйбышева»). Средний возраст исследуемых животных составил 5-7 лет.

ДНК выделяли из образцов цельной крови с помощью набора *BioSilica* (Россия). Для приготовления ПЦР-образцов использовалась смесь *qPCRmix-HS (5x)* (Евроген, Россия) и следующий набор праймеров: консенсусная последовательность 3'-конца хелитронов семейства *Heligloria* Hel-1 5'-GCAACGCGTGGCCGG-3' [21], и тринуклеотидные микросателлиты (AGC)<sub>6</sub>G 5'-AGCAGCAGCAGCAGCAGCG-3' и (GAG)<sub>6</sub>C 5'-GAGGAGGAGGAGGAGGAGC-3', в следующих комбинациях: Hel-1 + (AGC)<sub>6</sub>G и Hel-1 + (GAG)<sub>6</sub>C. Количество геномной ДНК, взятой для анализа, составило 10 нг. Амплификация проводилась по методике ISSR-PCR в оптимизированных условиях (95 °C, 2 мин.; 94 °C, 15 сек., 56 °C, 15 сек., 72 °C, 2 мин., 40 циклов; 72 °C, 2 мин.).

Разделение продуктов амплификации выполнялось в течение 120 мин. в агарозном геле (1.2%) окрашенным бромистым этидием (0.5 мкг/мл). Длины полученных ампликонов определяли с помощью ДНК-маркера длин *O'GeneRuler DNA Ladder mix* (100 – 10 000 п.о.). Бинарная матрица была составлена на основании оценки присутствия/отсутствия индивидуальных фрагментов ДНК определенной длины у каждого из исследуемых животных. Для математической обработки данных использовался алгоритм метода невзвешенного попарного среднего UPGMA (unweighted pair-group method using arithmetic averages) сервера *DendroUPGMA* [12] и коэффициент подобия по Дайсу (Dice) (Nei & Li, 1979). Далее генетическое древо в формате *Newick* использовалось для построения дендрограммы в программе *TreeView* [17]. Статистическая обработка данных осуществлялась в программе *GenAlEx 6.5*. [18].

### Результаты и их обсуждение

*Анализ особенностей спектров продуктов амплификации, полученных с использованием в ПЦР в качестве двух праймеров идентификационной последовательности хелитронов и одной из последовательностей (AGC)<sub>6</sub>G и (GAG)<sub>6</sub>C.*

Сравнительный анализ спектров продуктов амплификации (ампликонов), полученных на геномной ДНК трех пород крупного рогатого скота (местной калмыцкой и заводскими молочными породами айрширской и черно-пестрого голштинизированного скота), с использованием в качестве праймеров консенсусной последовательности 3'-фланга хелитронов *Heligloria*, в комбинации с тринуклеотидными микросателлитами (AGC)<sub>6</sub>G и (GAG)<sub>6</sub>C, позволил выявить определенные межпородные отличия по общим характеристикам спектров. Так, при использовании пары праймеров Hel-1 и (AGC)<sub>6</sub>G оказалось, что амплифицируемые фрагменты ДНК, в целом, находятся в пределах 130 – 1650 п.о., но различаются у каждой из пород количеством ампликонов и диапазоном длин фрагментов (Рис. 1 а, в, д; табл. 1).

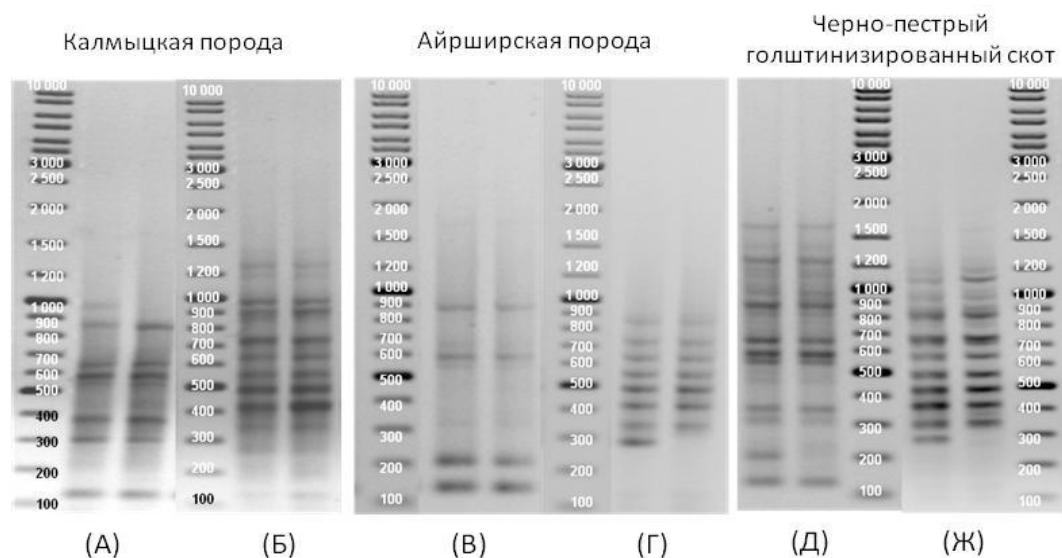


Рис. 1. Пример спектров продуктов амплификации геномной ДНК исследуемых пород КРС, полученных с использованием комбинации фрагмента хелитрона и тринуклеотидного микросателлита в качестве праймеров  
**А, В, Д** - Hel-1 + (AGC)<sub>6</sub>G; **Б, Г, Ж** - Hel-1 + (GAG)<sub>6</sub>C

У черно-пестрого голштинизированного скота фрагменты ДНК, фланкированные последовательностями хелитрона и повтора (AGC)<sub>6</sub>G встречаются в геноме чаще (17 локусов), чем у представителей калмыцкой (11 локусов) и айрширской пород (5 локусов) (Рис. 1, табл. 1). Наблюдается следующая тенденция: минимальное расстояние между хелитроном и данным микросателлитом, указывающее на соседство данных элементов в геноме, близко у всех животных (130 – 150 пар оснований - п.о.), независимо от породной принадлежности. В то же время, максимальная удаленность между 3' флангом хелитрона и повтора (AGC)<sub>6</sub>G составляет 870 – 890 п.о. у заводской молочной породы айрширов, 990 – 1000 п.о. у аборигенной калмыцкой породы и 1600 – 1650 п.о. у черно-пестрого голштинизированного скота (Рис. 1 а, в, д; табл. 1).

Таблица 1

**Сравнительные показатели полученных амплифицируемых ДНК-фрагментов в исследуемых популяциях КРС**

Показатели	Комбинация праймеров	Калмыцкая порода	Айрширская порода	Черно-пестрый голштинизированный скот
Количество амплифицируемых ДНК-фрагментов	Hel-1+(AGC) <sub>6</sub> G	11	5	17
	Hel-1+(GAG) <sub>6</sub> C	16	9	11
Диапазон длин амплифицируемых ДНК-фрагментов (п.о.)	Hel-1+(AGC) <sub>6</sub> G	~130...~1000	~130...~890	~130...~1650
	Hel-1+(GAG) <sub>6</sub> C	~90...~1300	~290...~890	~290...~1200

Результаты геномного сканирования с использованием в качестве праймеров 3'-фланга хелитронов *Heligloria* и микросателлита (GAG)<sub>6</sub>C показали, что амплифицируемые спектры также являются полиморфными и отличаются у исследуемых пород. У калмыцкой породы количество участков ДНК, фланкированных последовательностями фрагментов хелитронов и тринуклеотидного повтора (GAG)<sub>6</sub>C с длинами в диапазоне 90 – 1300 п.о. оказалось наивысшим (16 локусов), по сравнению с черно-пестрым голштинизированным скотом (11 локусов) и айрширской породой (9 локусов) (Рис. 1 б, г, ж; табл. 1). Примечательно, что у молочного скота (айрширского и черно-пестрого голштинизированного) минимальное расстояние между фрагментами ДНК-транспозона хелитрона и (GAG)<sub>6</sub>C сходное (290 – 300 п.о.), а максимальные длины различаются между специализированными молочными породами и калмыцким скотом (Табл. 1).

По результатам секвенирования генома крупного рогатого скота известно, что микросателлит AGC встречается много чаще, чем GAG [20]. Более того, в 39 % случаев этот микросателлит ко-локализован с видоспецифичным для крупного рогатого скота ретротранспозоном Bov-A2 SINE [20]. Тем не менее, судя по полученным нами данным (Табл.1), идентификационная последовательность ДНК-транспозона хелитрона и микросателлитов AGC и GAG встречаются на коротких расстояниях с близкой частотой.

В литературе накоплено большое количество экспериментальных данных, свидетельствующих о том, что распространение микросателлитов и, в частности, их инвертированных повторов, тесно связаны с транспозициями ретротранспозонов [4, 10, 13, 14]. Судя по тому, что у черно-пестрого голштинизированного скота количество коротких фрагментов ДНК, фланкированных инвертированным повтором идентификационной последовательности ДНК-транспозона хелитрона заметно меньше, чем количество таких ДНК фрагментов между 3' последовательностью хелитрона и микросателлитами AGC (Рис. 1) [2, 3], можно ожидать, что распространение хелитрона также тесно связано с локализацией в геноме крупного рогатого скота tandemных повторов.

#### *Генетическое разнообразие и генетические профили животных*

Сравнительный анализ основных показателей генетического разнообразия в группах животных исследуемых пород, рассчитанных по данным полилокусного генотипирования на основе 3'-участка хелитронов *Heligloria* и микросателлита (AGC)<sub>6</sub>G, показал, что наибольшей консолидированностью отличается калмыцкая порода, с наименьшими значениями эффективного числа аллелей ( $N_e$ ), индекса Шеннона ( $I$ ) и гетерозиготности ( $H_e$ ,  $uH_e$ ) (Табл. 2). У этой породы выявлен один породоспецифический ДНК фрагмент в низкомолекулярной зоне в диапазоне 390 – 400 п.о. (Рис. 2).

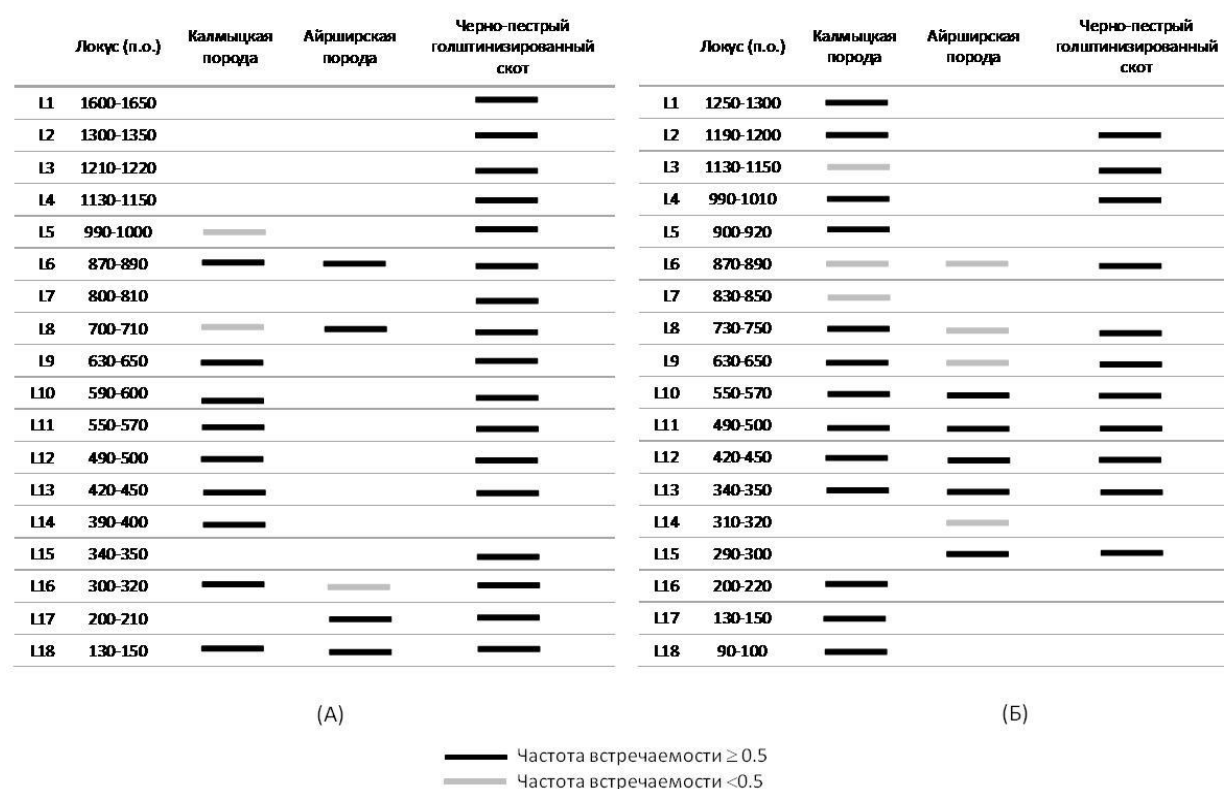


Рис. 2. Генетические профили (совокупность черных и серых бэндов) и породоспецифические паттерны (черные бэнды) исследованных пород крупного рогатого скота, полученные с помощью комбинаций праймеров:

(А) Hel-1 и (AGC)<sub>6</sub>G

(Б) Hel-1 и (GAG)<sub>6</sub>C

Несмотря на одинаковое значение доли полиморфных локусов ( $P$ ) с калмыцкой породой (11.11 %) (Табл. 2), айрширская порода является менее консолидированной по спектрам ампликонов, полученных с праймерами Hel-1 и (AGC)<sub>6</sub>G и не характеризуется наличием уникальных ампликонов (Рис. 2а). Исследуемая группа черно-пестрого голштинизированного скота оказалась наиболее гетерогенной по всем статистическим параметрам (Табл. 2). Более того, сравнительный анализ спектров позволил выявить 6 уникальных ампликонов, расположенных в 3 молекулярных зонах (300 – 350 п.о., 800 – 810 п.о., 1130 – 1650 п.о.) (Рис. 2а). При совместном анализе генетических профилей животных трех пород, полученных в результате генотипирования с помощью праймеров Hel-1 и (AGC)<sub>6</sub>G, выделяются группы фрагментов ДНК, объединяющие специализированный молочный айрширский и черно-пестрый голштинизированный скот (200 – 210 п.о.), а также местный калмыцкий и черно-пестрый голштинизированный скот (420 – 650 п.о. и 990 – 1000 п.о.) (Рис. 2а).

Расчет показателей генетического разнообразия исследуемых популяций КРС, основанный на данных генотипирования с помощью праймеров Hel-1 и (GAG)<sub>6</sub>C, показал, что наиболее консолидированной является популяция черно-пестрого голштинизированного скота, так как характеризуется низким значением доли полиморфных локусов ( $P = 5.56$  %) и иных параметров генетического разнообразия (Табл. 2), а также не содержит в спектре амплифицируемых фрагментов ДНК уникальных ампликонов (Рис. 2б).

**Особенности показателей генетического разнообразия  
в группах коров исследованных пород**

Комбинация праймеров	Порода	<i>N</i>	<i>Na</i>	<i>Ne</i>	<i>I</i>	<i>He</i>	<i>uHe</i>	<i>P</i> (%)
Hel-1 + (GAG) <sub>6</sub> C	Калмыцкая	30	1.222	1.122	0.141	0.087	0.088	33.33
	Айрширская	15	0.889	1.211	0.195	0.129	0.134	38.89
	Черно-пестрый голштиinizированный скот	14	0.667	1.051	0.037	0.027	0.028	5.56
Hel-1 + (AGC) <sub>6</sub> G	Калмыцкая	30	0.722	1.029	0.033	0.020	0.020	11.11
	Айрширская	15	0.389	1.079	0.065	0.044	0.046	11.11
	Черно-пестрый голштиinizированный скот	14	1.111	1.154	0.112	0.080	0.083	16.67

*N* – количество исследованных животных

*Na* – количество аллелей на локус

*Ne* – эффективное число аллелей ( $Ne = 1 / ((p^2 + q^2) / 2)$ )

*I* – информационный индекс Шеннона (Shannon's Information Index,  $I = -1 / (p \times \ln p + q \times \ln q)$ )

*He* – ожидаемая гетерозиготность ( $He = 2 \times p \times q$ )

*uHe* – несмещенная ожидаемая гетерозиготность ( $uHe = (2N / (2N - 1)) \times He$ )

(где для диплоидных бинарных данных и с учетом равновесия Харди-Вайнберга:

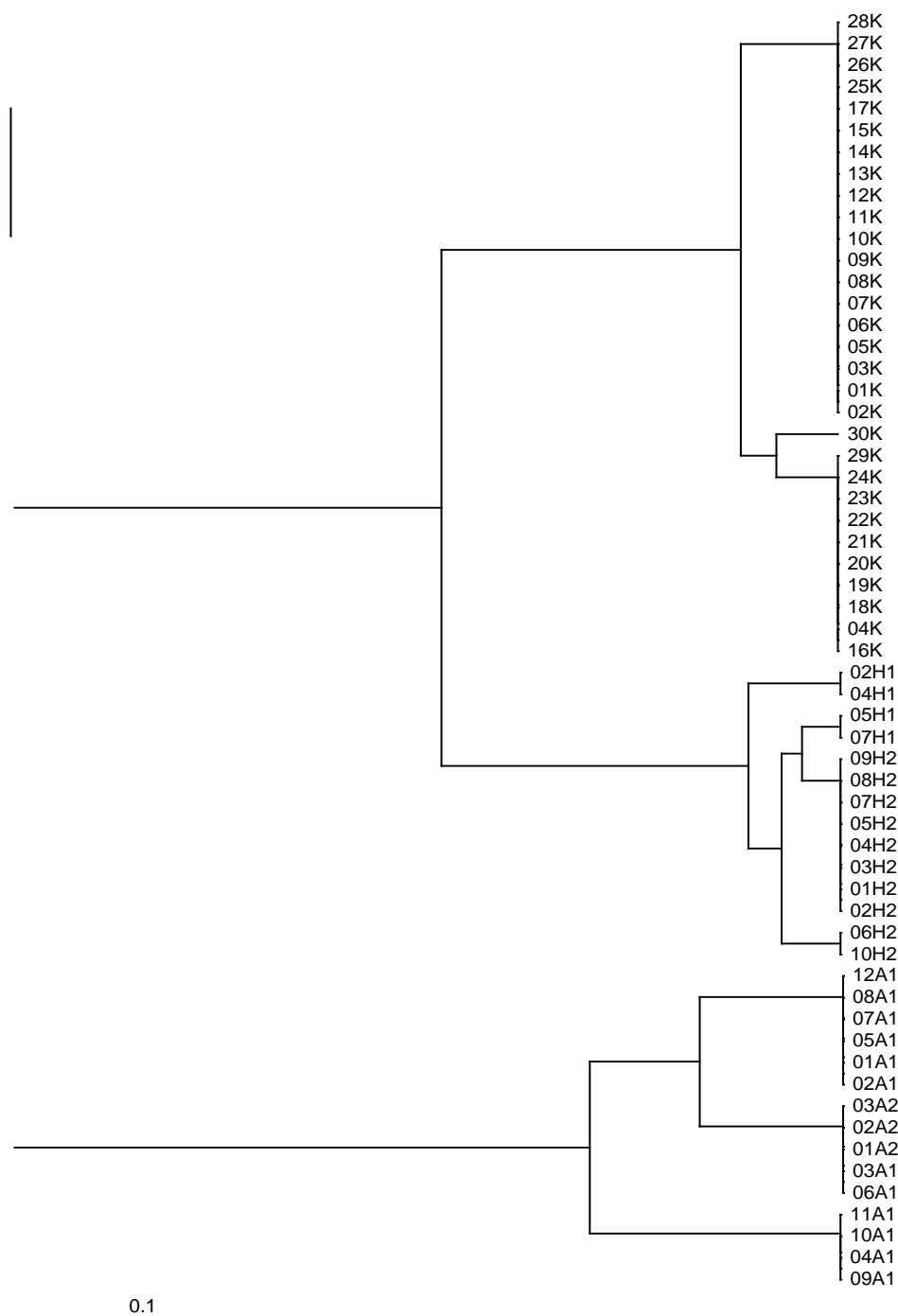
$q = \sqrt{1 - \text{частота локуса}}$  и  $p = 1 - q$ );

*P* (%) – доля полиморфных локусов.

Достаточно консолидированной в этом случае оказалась калмыцкая порода, которая, несмотря на наличие 6-ти уникальных ампликонов (в диапазонах 90 – 220 п.о., 830 – 850 п.о., 900 – 920 п.о., 1250 – 1300 п.о) (Рис. 2б), уступает популяции айрширской породы. Последняя, хоть и характеризуется наличием всего одного уникального продукта амплификации, по расчетам значений индексов гетерозиготности (*I*, *He*, *uHe*) (Табл. 2), является наиболее разнообразной, с генетической точки зрения. Согласно полученным генетическим профилям выделяется породоспецифический фрагмент ДНК, характерный для представителей специализированного молочного скота (290 – 300 п.о.) (Рис. 2б).

#### Кластерный анализ

Согласно результатам кластеризации бинарных данных, с учетом генетических расстояний, рассчитанных по частотам встречаемости геномных участков ДНК разной длины, фланкированных последовательностями 3'-фланга хелитрона Hel-1 и микросателлита (AGC)<sub>6</sub>G, показано, что подобная комбинация праймеров применима для популяционного анализа в целях выявления межпородной дифференциации КРС, так как на построенной дендрограмме каждая из трех исследуемых пород формирует отдельный кластер (Рис. 3). Примечательно, что представители калмыцкой породы и черно-пестрого голштиinizированного скота образуют на дендрограмме общий подкластер (Рис. 3).



*Рис. 3.* Дендрограмма, построенная с учетом генетическим расстояний, рассчитанных по частотам встречаемости геномных участков ДНК, фланкированных инвертированными повторами 3'-фланга хелитрона *Hel-1* и микросателлита  $(AGC)_6G$ .

**К** - Калмыцкая порода; **A1, A2** - Айрширская порода;  
**H1, H2** - Черно-пестрый голштинизированный скот

Результаты кластерного анализа по спектрам продуктов амплификации участков геномной ДНК, фланкированных последовательностью 3'-фланга хелитрона *Hel-1* и микросателлита  $(GAG)_6C$ , показали, что в целом, с помощью данных праймеров также возможно достоверно дифференцировать исследуемые породы (Рис. 4). Исключением являются некоторые представители айрширской породы (01A1, 01A2, 02A2, 03A2), образующие общий кластер и группирующиеся вместе с представителями голштинизированного скота (Рис. 4).

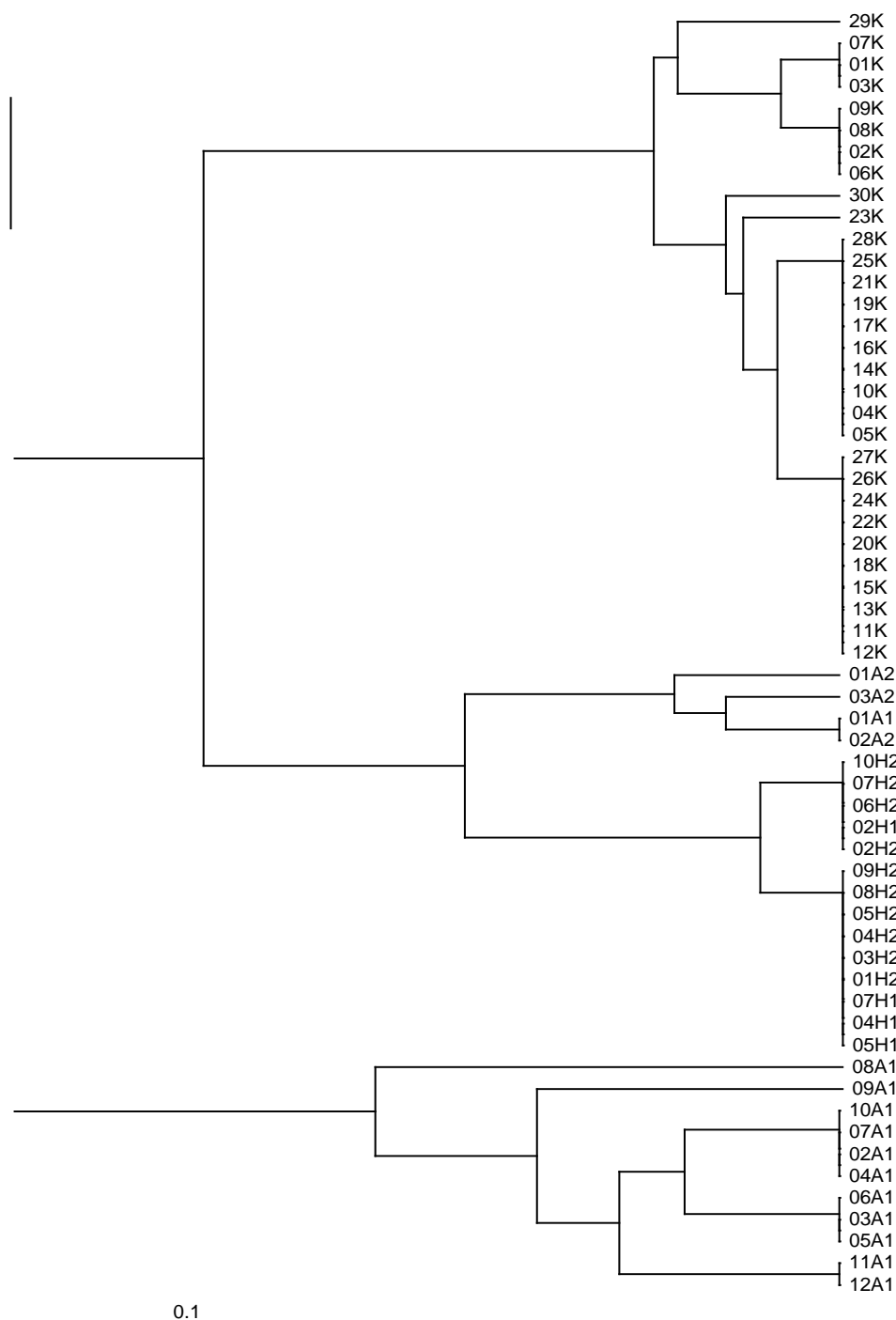


Рис. 4. Дендрограмма, построенная с учетом генетическим расстояний, рассчитанных по частотам встречаемости геномных участков ДНК, фланкированных инвертированными повторами 3'-фланга хелитрона Hel-1 и микросателлита (GAG)<sub>6</sub>C.

**К** – Калмыцкая порода; **A1, A2** – Айрширская порода;

**H1, H2** – Черно-пестрый голштинизированный скот.

Подобное распределение, как и в случае калмыцкой породы, можно объяснить широким использованием вводных скрещиваний с улучшающей молочную продуктивность голштинской породой.

### Заключение

Полученные данные свидетельствуют о возможности использования консенсусной последовательности 3'-фланга хелитронов *Heligloria*, в комбинации с тринуклеотидными

микросателлитами (AGC)<sub>6</sub>G и (GAG)<sub>6</sub>C, для полилокусного генотипирования и выявления генетической дифференциации трех пород крупного рогатого скота. В целом, наиболее «богатые» спектры продуктов амплификации по количеству ДНК фрагментов разной длины специфичны для представителей местной калмыцкой породы и для черно-пестрого голштинизированного скота; наименьшее количество ампликонов выявлено у заводской породы айрширов. В геноме черно-пестрого голштинизированного скота нуклеотидные последовательности, гомологичные участкам хелитронов и тринуклеотидного микросателлита (AGC)<sub>6</sub>G, обнаруживаются чаще, чем идентификационные последовательности ДНК транспозона хелитрона, локализованные в альтернативных цепях ДНК. Это позволяет предполагать определенные ассоциации между геномной локализацией хелитронов и микросателлита (AGC)<sub>6</sub>G у данной группы животных. Полилокусное генотипирование с применением в качестве праймеров участков двух наиболее полиморфных геномных элементов (ДНК транспозон хелитрон, микросателлитные локусы) позволяет получать индивидуальные генетические профили животных, выявлять их породоспецифические особенности, необходимые для решения традиционных задач «селекции с помощью маркеров» (Marker Assisted Selection – MAS).

#### Примечания:

1. Глазко В.И. и др. Геномное сканирование, основанное на последовательностях гомологичных ДНК-транспозонам хелитронам // Интеграл. 2014. № 74. Т. 1. С. 30-32.
2. Бабий А.В. и др. ДНК транспозон хелитрон в выявлении генофондных отличий у пород крупного рогатого скота // Интеграл. 2015. № 1-2. С. 96-97.
3. Бабий А.В. и др. ДНК-транспозон хелитрон в геноме крупного рогатого скота // Ветеринария и кормление. 2015. №3. С. 30-33.
4. Глазко В.И. и др. Инвертированный повтор микросателлита (AGC)<sub>6</sub>G фланкирует районы ДНК с участками гомологии к ретротранспозонам в геноме крупного рогатого скота // Инновационные технологии в медицине. 2014. №2. Т. 3. С. 63-79.
5. Косовский Г.Ю. и др. Популяционно-генетическая дифференциация молочного скота по ISSR-PCR маркерам // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. 2014. № 5. С. 53-56.
6. Косовский Г.Ю. и др. ISSR-PCR маркеры в оценках межпородной дифференциации крупного рогатого скота // Интеграл. 2014. №2, 3 (75). С. 12-15.
7. Глазко В.И. и др. ISSR-PCR маркеры и мобильные генетические элементы в геномах сельскохозяйственных видов млекопитающих // Сельскохозяйственная биология. 2013. №2. С. 71-76.
8. Legarra A. et al. A comparison of methods for whole-genome QTL mapping using dense markers in four livestock species // Genetics Selection Evolution. 2015. V. 47: 6 (doi: 10.1186/s12711-015-0087-7).
9. Coates B. S. Horizontal transfer of a non-autonomous Helitron among insect and viral genomes // BMC Genomics. 2015. V. 16. P. 137-146.
10. С.Е. McInerney et al. Comparative genomic analysis reveals species dependent complexities that explain difficulties with microsatellite marker development in mollusks // Heredity. 2011. V. 106. P. 78–87.
11. X. Guo et al. Evidence of horizontal transfer of non-autonomous Lep1 helitrons facilitated by host-parasite interactions // Scientific reports. 2014. V. 4. P. 5119.
12. Garcia-Vallve, S., Puigbo, P. DendroUPGMA: A dendrogram construction utility. 2002. Режим доступа: <http://genomes.urv.cat/UPGMA/>.
13. Gradi, F. C., Wenfeng, A. Non-LTR retrotransposons and microsatellites // Mobile genetic elements. 2013. V. 3. No 4. e25674.
14. D. L. Adelson et al. Interspersed repeats in the horse (*Equus caballus*); spatial correlations highlight conserved chromosomal domains // Animal Genetics. 2010. V. 41 (Suppl. 2). P. 91-99.
15. Kapitonov, V. V, Jurka, J. Helitrons on a roll: eukaryotic rolling-circle transposons // TRENDS in Genetics. 2007. V.23. No 10. P. 521-529.
16. Kapitonov, V.V, Jurka, J. Rolling-circle transposons in eukaryotes // PNAS. 2001. V. 98. No 15. P. 8714–8719.



17. Page, R. TreeView: An application to display phylogenetic trees on personal computers // CABIOS applications note. 1996. V. 12. No 4. P. 357-358.
18. Peakall R., Smouse P. E. GenAlEx 6.5: genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research-an update // Bioinformatics. 2012. V. 28. P. 2537-2539.
19. Tateishi-Karimata H., Isono N., Sugimoto N. New insights into transcription fidelity: thermal stability of non-canonical structures in template DNA regulates transcriptional arrest, pause, and slippage // PLoS One. 2014. 9(3):e90580 (doi: 10.1371/journal.pone.0090580. eCollection 2014)
20. The Bovine genome consortium et al. The genome sequence of taurine cattle: a window to Ruminant biology and evolution // Science. 2009. V. 324. P. 522--532.
21. Thomas J., Schaack S., Pritham E. J. Pervasive horizontal transfer of rolling-circle transposons among animals // Genome Biol. Evol. 2010. V. 2. P. 656-664.
22. Kantanen J. et al. Utilization of farm animal genetic resources in a changing agro-ecological environment in the Nordic countries // Front. Genet. 2015. V.6:52. (doi: 10.3389 / fgene.2015.00052)
23. Yang L., Bennetze J. L. Structure-based discovery and description of plant and animal Helitrons // PNAS. 2009. V. 106, No 31. P. 12832 - 12837.
24. Zietkiewicz E., Rafalski A., Labuda D. Genome fingerprinting by simple sequence repeat (SSR)-anchored polymerase chain reaction amplification // Genomics. 1994. V. 20. No 2. P. 176-183.

#### References:

1. Glazko VI et al. Genomic scanning, based on the sequences of homologous DNA transposons helitrons // Integral. 2014. №74. V. 1. pp 30-32.
2. Babii AV et al. DNA transposon gene pool helitron in identifying differences among breeds of cattle // Integral. 2015. №1-2. pp 96-97.
3. Babii AV et al. DNA transposon in the genome helitron cattle // Veterinary and feeding. 2015. №3. pp 30-33.
4. Glazko VI et al. The inverted repeat of microsatellite (AGC)<sub>6</sub>G flanking regions of DNA regions of homology to the retrotransposon into the genome of cattle / VI eyes and others. // Innovative technologies in medicine. 2014. №2. V. 3. pp 63-79.
5. Kosovsky G. Yu et al. Population-genetic differentiation of dairy cattle for ISSR-PCR markers // Reports of the Russian Academy of Agricultural Sciences. 2014. № 5, pp 53-56.
6. Kosovsky G. Yu et al. ISSR-PCR markers in estimates of interbreed differentiation of cattle // Integral. 2014. №2, 3 (75). pp 12-15.
7. Glazko VI et al. ISSR-PCR markers and mobile genetic elements in the genomes of farm mammals // Agricultural Biology. 2013. №2. pp 71-76.
8. Legarra A. et al. A comparison of methods for whole-genome QTL mapping using dense markers in four livestock species // Genetics Selection Evolution. 2015. V. 47: 6 (doi: 10.1186/s12711-015-0087-7).
9. Coates B. S. Horizontal transfer of a non-autonomous Helitron among insect and viral genomes // BMC Genomics. 2015. V. 16. P. 137-146.
10. C.E. McInerney et al. Comparative genomic analysis reveals species dependent complexities that explain difficulties with microsatellite marker development in mollusks // Heredity. 2011. V. 106. P. 78-87.
11. X. Guo et al. Evidence of horizontal transfer of non-autonomous Lep1 helitrons facilitated by host-parasite interactions // Scientific reports. 2014. V. 4. P. 5119.
12. Garcia-Vallve, S., Puigbo, P. DendroUPGMA: A dendrogram construction utility. 2002. Режим доступа: <http://genomes.urv.cat/UPGMA/>.
13. Gradi, F. C., Wenfeng, A. Non-LTR retrotransposons and microsatellites // Mobile genetic elements. 2013. V. 3. No 4. e25674.
14. D. L. Adelson et al. Interspersed repeats in the horse (*Equus caballus*); spatial correlations highlight conserved chromosomal domains // Animal Genetics. 2010. V. 41 (Suppl. 2). P. 91-99.
15. Kapitonov, V. V, Jurka, J. Helitrons on a roll: eukaryotic rolling-circle transposons // TRENDS in Genetics. 2007. V.23. No 10. P. 521-529.

16. Kapitonov, V.V, Jurka, J. Rolling-circle transposons in eukaryotes // PNAS. 2001. V. 98. No 15. P. 8714–8719.
17. Page, R. TreeView: An application to display phylogenetic trees on personal computers // CABIOS applications note. 1996. V. 12. No 4. P. 357-358.
18. Peakall R., Smouse P. E. GenAlEx 6.5: genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research-an update // Bioinformatics. 2012. V. 28. P. 2537-2539.
19. Tateishi-Karimata H., Isono N., Sugimoto N. New insights into transcription fidelity: thermal stability of non-canonical structures in template DNA regulates transcriptional arrest, pause, and slippage // PLoS One. 2014. 9(3): e90580 (doi: 10.1371/journal.pone.0090580. eCollection 2014)
20. The Bovine genome consortium et al. The genome sequence of taurine cattle: a window to Ruminant biology and evolution // Science. 2009. V. 324. P. 522-532.
21. Thomas J., Schaack S., Pritham E. J. Pervasive horizontal transfer of rolling-circle transposons among animals // Genome Biol. Evol. 2010. V. 2. P. 656–664.
22. Kantanen J. et al. Utilization of farm animal genetic resources in a changing agro-ecological environment in the Nordic countries // Front. Genet. 2015. V.6:52. (doi: 10.3389 / fgene.2015.00052)
23. Yang L., Bennetze J. L. Structure-based discovery and description of plant and animal Helitrons // PNAS. 2009. V. 106, No 31. P. 12832 – 12837.
24. Zietkiewicz E., Rafalski A., Labuda D. Genome fingerprinting by simple sequence repeat (SSR)-anchored polymerase chain reaction amplification // Genomics. 1994. V. 20. No 2. P. 176-183.

УДК 575.174.015.3+ 636.01 + 636.082.1/2

**Полилокусное генотипирование крупно рогатого скота с использованием высокополиморфных геномных элементов (микросателлиты, ДНК транспозон хелитрон)**

<sup>1</sup> Анна Владимировна Бабий

<sup>2</sup> Светлана Николаевна Ковальчук

<sup>3</sup> Татьяна Теодоровна Глазко

<sup>4</sup> Глеб Юрьевич Косовский

<sup>5</sup> Валерий Иванович Глазко

<sup>1-5</sup> Федеральное государственное бюджетное научное учреждение Центр экспериментальной эмбриологии и репродуктивных биотехнологий, Москва, Российская Федерация

<sup>3-5</sup> Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева, Москва, Российская Федерация

<sup>1</sup> младший научный сотрудник

E-mail: anna.babii@yahoo.com

<sup>2</sup> кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник

E-mail: s.n.kovalchuk@gmail.com

<sup>3</sup> доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник

E-mail: tglazko@rambler.ru

<sup>4</sup> доктор биологических наук, директор

E-mail: gkosovsky@mail.ru

<sup>5</sup> доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник

E-mail: vglazko@yahoo.com

**Аннотация.** Выполнено полилокусное генотипирование крупного рогатого скота местной калмыцкой породы мясного направления продуктивности и двух заводских пород молочного направления продуктивности: айрширской породы и черно-пестрого голштинизированного скота. В качестве праймеров в полимеразной цепной реакции

использовались консенсусная последовательность 3'-фланга хелитронов семейства *Heligloria* в комбинации с тринуклеотидными микросателлитами (AGC)<sub>6</sub>G и (GAG)<sub>6</sub>C, соответственно. Выявлено, что наиболее «богатые» спектры продуктов амплификации специфичны для представителей местной калмыцкой породы и для черно-пестрого голштиinizированного скота; наименьшее количество ампликонов выявлено у заводской породы айрширов. В геноме черно-пестрого голштиinizированного скота нуклеотидные последовательности, гомологичные участкам хелитронов и тринуклеотидного микросателлита (AGC)<sub>6</sub>G, обнаруживаются чаще, чем идентификационные последовательности ДНК транспозона хелитрона, локализованные в альтернативных цепях ДНК. Это позволяет предполагать определенные ассоциации между геномной локализацией хелитронов и микросателлита (AGC)<sub>6</sub>G у данной группы животных. Полученные данные свидетельствуют о возможности использования консенсусной последовательности 3'-фланга хелитронов *Heligloria*, в комбинации с тринуклеотидными микросателлитами (AGC)<sub>6</sub>G и (GAG)<sub>6</sub>C, для полилокусного генотипирования и выявления генетической дифференциации трех пород крупного рогатого скота.

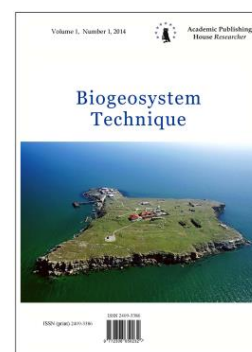
**Ключевые слова:** геном, геномное сканирование, крупный рогатый скот (КРС), транспозоны, хелитрон, микросателлиты.

Copyright © 2015 by Academic Publishing House *Researcher*



Published in the Russian Federation  
Biogeosystem Technique  
Has been issued since 2014.  
ISSN: 2409-3386  
E-ISSN: 2413-7316  
Vol. 5, Is. 3, pp. 256-266, 2015

DOI: 10.13187/bgt.2015.5.256  
[www.ejournal19.com](http://www.ejournal19.com)



UDC 616:572.1/.4:504.03(8)

### **Evolutionary Semantics of Anthropogenesis and Bioethics of Nbic-Technologies**

<sup>1</sup>Valentin T. Cheshko

<sup>2</sup>Yulia V. Kosova

<sup>3</sup>Valery I. Glazko

<sup>1</sup>V.N. Karazin Kharkiv national university, Ukraine  
sq. Svobody, Kharkiv, 61122

Doctor of Philosophy, PhD, professor, leading researcher  
E-mail: [cheshko@karazin.ua](mailto:cheshko@karazin.ua)

<sup>2</sup>Kharkiv National University of Economics named after S. Kuznets, Ukraine  
ave. Lenina, 9a, Kharkiv 61166

Lecturer

E-mail: [yulia.kosova@gmail.com](mailto:yulia.kosova@gmail.com)

<sup>3</sup>Russian academy of sciences, Russian Federation  
Doctor of Agricultural Sciences, professor

#### **Abstract**

The co-evolutionary concept of tri-modal stable evolutionary strategy (SESH) of Homo sapiens is developed. The concept based on the principle of evolutionary complementarity of anthropogenesis: value of evolutionary risk and evolutionary path of human evolution are defined by descriptive (evolutionary efficiency) and creative-teleological (evolutionary correctness) parameters simultaneously, that cannot be instrumentally reduced to others ones. Resulting volume of both parameters define the vectors of human evolution by two gear mechanism - genetic and cultural co-evolution and techno-humanitarian balance. Explanatory model and methodology of evaluation of creatively teleological evolutionary risk component of NBIC technological complex is proposed. The mechanism of influence of each module on the evolution of the two remaining modules of SESH a priori can be twofold: (1) informational co-evolution (direct selective pressure); (2) semantic co-evolution (time-varying semantic code, the compliance of the biological, socio-cultural and techno-rationalist adaptive modules of human stable evolutionary strategy). More rapidly evolving autonomous element of the co-evolutionary pair becomes making sense factor for the partner. Semantic co-evolution is the discrete acquisition of adaptive significance of individual alleles by changing socio-cultural types, manifested as an increase in the genetic variability of populations of Homo sapiens, and domesticated species parallel to socio-culturogenesis. The socio-cultural landscape leads to drastically difference of direction in biological evolution of Atlantic and East-Slavic ethnicities/civilizations.

**Keywords:** evolutionary semantics, nbic-technologies, co-evolutionary concept.

## Introduction

In our previous publications [6-8] it was argued that a stable adaptive strategy of *Homo sapiens* (SESH) is a superposition of three different adaptive informational areas (modules): biological, socio-cultural and technological, which are based on three autonomous processes of generation, replication and implementation of adaptive information – genetic, socio-cultural and symbolic. In this case the third part of SESH is focused equally on an adaptive transformation of the habitat and the bearer of SESH. This concept comes from the ideas of the theory of niche construction. According to the theory epigenetic changes in the genetic information initiate the adaptive change of the conditions of its implementation, and therefore evolutionary landscape selective processes. With regard to the type of modular organization of modular organization of biological adaptations, the set of experimental data on the simultaneous genesis of autonomous adaptive features complexes are obtained [1, 13, 35]. Near concept to our views presented in the monograph of the British sociologist Walter Runciman [31].

## Discussion

Informational and semantic components of the organization of the stable evolutionary strategy of *Homo sapiens*

The mechanism of the effect of each module on the evolution of the two remaining modules of SESH a priori can be ambivalent:

1. Direct selective pressure, i.e. the change of the adaptive values of the individual features/innovations that are controlled or supported genetically, technologically or through training;
2. Semantic coevolution, i.e. the change in the qualitative or quantitative expression of a particular trait during its implementation as a result of contact with the factors that are the adaptive elements of other SESH modules.

With regard to the gene-cultural coevolution the examples of selective pressure, which consists in changing of gene frequencies in populations with changing socio-cultural environment, were given in this study more than once. Semantic coevolution in this case involves epigenetic modification of the process of realization of genetic information under the influence of sociocultural factors (ethical imperatives, rituals, beliefs, behavioral acts, etc.). All similar factors have the potential to cause psychosomatic response and, over time, to become self-sustaining cycles. In some sense, the mechanisms of interaction of genes and culture of this kind is similar to the placebo effect. The latter, as it is known, is a certain psychosomatic therapeutic action or acts of communication, rituals, physical acts that have no direct pharmaceutical value. According to the recent, though still hypothetical builds, the placebo effect may be due to the changes in the activity of the nerve centers of the brain and activation of the synthesis of various neurotransmitters. Under the action of the latter, the synthesis of specific information molecules (RNA, proteins) either is activated or inhibited [19]. As a result, the functional relationship between behavioral act and physiological response, which is based on the initial psychological pre disposition, is established. Introduced by the authors of the cited work, the concept of "placebo" (placebome), in our opinion, can be a particular description of more general phenomenon -- the existence of a common epigenetic intermediate mechanism through which adaptive interaction between sociocultural and biological SESH module is installed. It is important to note that in this way not only co-evolutionary links between genes and elements of culture are formed, but to each of them a certain adaptive value is assigned.

Separation of the category "adaptivity" on two parameters (introduced by us) -- objectively-spontaneous (evolutionary efficiency) and subjective-teleological (evolutionary correctness) allows, in our view, to transfer the semantic concept of co-evolution into the sphere of empirical verification. According to the views of its author (S. D. Cousins) the integrity of the co-evolutionary binary opposition of genes–culture is supported by the informational correlations as well as semantic correspondences [11, p. 160-191]. If in the first (informational) aspect the co-evolutionary connection between two areas (modules in our terminology) of adaptive information is provided by the correspondences between informational modules (adaptations) that are supported by biological and socio-cultural inheritance, in the second (semantic) aspect we are talking about rules of such conformity.

In our view, culture is transformed to the selective factor of human evolution and determinate the fixation or elimination of specific fragments of genetic information according to their adaptability or maladaptive in the socio-cultural environment. Its (culture) evolutionary importance is much higher the powerful selective incentives by the proper environmental landscape. In fact, it gives the impression of "decay" of biological form of adaptation in human evolution [28].

However, the set of possible mechanisms of gene-culture coevolution is not exhausted. Selective pressure on the gene pool of a man having two effects [28, p. 406], that diagnosed and quantified with great methodological difficulties:

(1) Transformation of existing functional significance of genetic variation in accordance to the new adaptive socio-cultural landscape. The essence of this phenomenon is determined by the evolution of the change of function and sometimes is called "exaptation" (to distinguishing from classical adaptation). Exaptation (genetic substrate of evolutionary correctness on our terminology) has an adaptive significance only in the gene-cultural adaptive complex. Potential selective advantage of the genetic and cultural co-adaptations, which then is converted to elemental biological adaptation as part of the integrated genetic and cultural complex (Balduin effect). Phenomenologically the effect creates the impression of a direct genetic pressure on the general vector of cultural evolution and its elementary components, i.e. provide empirical material for genetic and reductionist interpretations of anthropological and ethnogenesis;

(2) The next mechanism of evolutionary cultural and biological interfaces (obviously, humanitarian and technological as well) components of SESH is associated with the cultural inhibition of adaptive modular differentiation of human genome. More rapid cultural and technological adaptive response to problems of survival makes it unnecessary develop a similar adaptive response of elements within genomic clusters, potentially capable of solving the same problem. As a result, firstly, stochastic processes (genetic drift) replace adaptive evolution genetic genome and, secondly, there is a gradual erosion of the components of the adaptive SESH (increase in genetic load).

Therefore, the original co-evolutionary relationship of the culture and genome can be reduced to coadaptation (Darwinian adaptation and exaptation) and disintegration. Since a priori the same types of co-evolutionary relationship applicable to a pair of culture and technology, we can say that the organization of SESH allows two possible scenarios for the future evolution - the growth of system complexity and disintegration. The last scenario involves loss of individual elements of co-evolutionary triad SESH. The ratio of the probability of actualization of both evolutionary scenario is changing with the emergence of each particular genetic, cultural and technological innovation. The magnitude of the resulting effect for the total amount of adaptability SESH determined by the configuration and ranges from zero to one, and therefore requires constant monitoring.

In the framework of the three-module model of SESH the co-evolutionary semantics is interpreted as analysis of the informational code that is being changed in the course of human evolution and providing inter-modular interaction within a coherent system of SESH. Therefore, we are talking about the evolution of the double mutual connotations between elements of biological and socio-cultural, socio-cultural and techno-rationalistic modules. Because of such interactions, that are changing in the course of evolution, a peculiar picture of substantial relations is set: the elements of biological module serve as the substrate basis, providing the substrate foundation for the available pool of socio-cultural adaptations; the elements socio-cultural module serve as a selective filter that quickens or hinders the development of technological innovation.

This transmissional mechanism by which the system of adaptations of one module pre-forms selective topos of another one, S. D. Cousins (as in the center of his attention there is culture as a set of psychological intentions and pre-dispositions) names the intendant [12]. From our point of view, more adequate and lexically neutral in different linguistic context will be used such term as "operator". But in any case the content of this term is revealed through ideal image, that which emerged spontaneously or rationally, of the totality of objective targets that pre-determines self-replicating (in future) structure of relationships of adaptability/disadaptability of separate elements of each module. This structure further indicates the direction of SESH evolution in whole and its individual elements in particular.

Another aspect of the realization of functions SESH (co-evolutionary semantics) is a time-varying code of corresponding between members of pairwise co-evolutionary ligaments. (Some researchers have used to refer to this phenomenon, the term “semiotic cooptation” or “eco-semiotics” [21, 22]. Those terms are equivalent to (co)evolutionary semantics in our research. Accordingly, we consider as equivalent terms co-evolutionary informatics and semiotic selection, because in the latter case, biological and socio-cultural integration of modules is achieved by mutual selective pressure.

More rapidly evolving autonomous element of the co-evolutionary pair becomes sense-created factor for the partner. Semantic co-evolution is the discrete act of acquisition of adaptive significance of individual allele's because changing of socio-cultural types and manifested as an increase in the genetic variability of populations of *Homo sapiens*, and domesticated species parallel to socio-culturogenesis.

Indeed, the examples fixation or elimination of certain structural genes in the population under the influence of socio-cultural factors are relatively few. At present, well-founded and reasoned examples of induction by culture- and technogenesis fixing in the human gene pool of the genetic determinants of monogenic or oligogene phenotypic traits are: constant lactase and amylase activity in human ontogenesis [16], sickle-cell anemia in other pathologies, lack of alcohol addiction [14], gay male behavioral activity [3], intention to reduce the emotional tension in interpersonal conflicts [32, 10], the development of the speech center and so on. A priori we can assume only two evolutionary mechanisms through which socio-cultural module SESH involves genetic inadaptability spread in human populations: the acquisition of pathological features of the group as a result of the adaptive value of the induced culture lifestyle changes (sickle-cell anemia and other tropical gematopathies in irrigated agriculture areas - as a result of increased morbidity from malaria), and the transformation of highly adaptive to abnormal biological characteristics, for the same reasons (Crohn's disease, psoriasis, resulting giper-reactivity immune system) for the same reasons [15].

However, the correlation between the levels and patterns of genetic polymorphism and epysociocultural type overlap no doubt parallel to the change of socio-cultural types [4]. Moreover, pattern of the impact of culture on the organization of the genome is distributed from actual human genome to the genomes of "cultivated" (domesticated) species, whose existence and now depend on the evolution of man. The genome of these species formed sub-genome providing communication with biological evolution as an evolving system of social and cultural predisposition [17, p. 30].

According to paleogenetic data, induced by culture change genetic frequencies become noticeable during the so-called Neolithic revolution - the transition to agriculture and animal husbandry [30]. As a result of the Neolithic revolution in evolutionary mechanisms of anthropogenesis prevailed two new fundamental attribute - "conscious" (techno-rationalist) adaptatiogenesis components and adaptively significant increase in the size of social communities at the expense of not only population growth but the intergroup integration processes too [18, p. 65-67].

So, a specified model of the three-module model of organization of SESH includes (1) three informational modules (bio-, cultural - and techno-rationalistic), each one with its own system of generating, encoding and inheritance of adaptive information and (2) three semantic operator (transmission mechanism) that connect the modules to each other, and semantic connotations of the members of the co-evolutionary bundle vary in time.

In socio-humanitarian and natural-science conceptual and categorical framework of evolutionary theory, meta-semantic compliance of the categories of paradigmatic significance in which the system of objective interests and evolutionary correctness – systems of values - corresponds to the evolutionary efficiency is established. Thus two pairs of categories provide the intersection of socio-prescriptive and descriptive parts of the transdisciplinary theory of anthropogenesis (due to overlapping of their content). Configuration of semantic code is determined by the system of value priorities and the system of rationally justified interests (techno-rationalistic module). A priori we can assume that the semantic code of inter-module interaction is going through periods of relative stability followed by periods of uneven rearrangement initiated by the reconstruction of the value system (socio-cultural module) or objective knowledge and its

practical application (techno-rationalist module. (Change of the semantic code that defines the correspondence between the statuses of the individual modules, by definition, is initiated by the module, the rate of evolution of which is greater.) Such restructuring of the semantic connotations is fraught with sharp adaptive intensification of conflicts by increasing the size of the evolutionary load and evolutionary risk. The size of the risk reaches an existential level, when the vectors of evolutionary efficiency and evolutionary correctness are incompatible (antiparallel).

Therefore, semantic analysis can be applied equally to all co-evolutionary cycles (operators) inside SESH – to gene-cultural co-evolution, and the techno-humanitarian balance, and to the forming cycle of techno-biological transformations. The study of the semantic differences between the elements of binary techno-cultural and genetic cultural bunches serves as the basis for defining the current vector of the evolution and size of the current evolutionary risk of Homo sapiens.

Rational and technogenesis as the form and the mechanism of adaptation supposes availability of a cognitive (semantic) code. Its unique feature is the hegemony of random system of correlative correspondences between thoughts (interpretants), serving as promoters for the adaptively important behavioral acts, and as appropriate symbols. The availability of interpretants joins the mechanisms of functioning of the socio-cultural and rationalistic part of SESH. The difference between them consists in random coding system of adaptive behavioral acts that is capable to change physical, social or mental reality by increasing or reducing individual and/or group adaptability of their carriers. This idea is not something fundamentally new. In 1987, for example, in one of the articles it was claimed that the basis for the evolutionary uniqueness of man is the ability to conceptually abstracted from the situations modeling of the actions necessary to achieve the objectives that correlate with adaptation. The ability, speaking the language of the theory of cognition, to create the idealistic rationalistic models of objective reality, is called the "cognitive niche" [36, p. 209]. Given argumentation of the specific (not to say uniqueness) of SESH can be formulated as a postulate about rationalization of the process of adaptogenesis of Homo sapiens and other hominids. Metaphysical statement about teleological anthropogenesis with the emergence of the technologies of controlled evolution (NBIC-technological complex, convergent technologies, High Hume technology in a broad metaphorical meaning which doesn't change the essence) became quite compatible with the concept of the objective nature of the evolutionary process. Moreover, the observation of the simultaneous existence of several conjugate evolving systems of generation and inheritance of adaptive traits, on the assumption of the inequality of the speeds of adaptaciogenesis in each of them, makes teleology quite "natural".

#### Co-evolutionary semantics of evolutionary risk

As a result, the second aspect of the implementation of the SESH functions is constituted – it is semantic aspect. Co-evolutionary semantics is a time-varying code of correspondence between members of pairwise co-evolutional bunches.

The role of the operator that sets the rules of the biological and socio-cultural, socio-cultural and rational-technological, rational-technological and biological informational areas performs either the system of objectified interests (praxeologically oriented knowledge), or the system of subjective values (psychological pre-dispositions). Replication of the interests is carried out in the framework of the rational-technological module based on the mechanisms of symbolic inheritance, value priorities – within the framework of socio-cultural module and, accordingly, socio-cultural inheritance (cultural tradition). If the main "purpose" of interests is material survival of the carriers of SESH (evolutionary efficiency), then the content of the same parameter (evolutionary correctness) of values is determined by their ability to ensure self-identity preservation.

Such organization is able to spontaneous increase of system complexity, and at different stages of socio-anthropological genesis the role of the leader is taken by some of its components. Approximately 350-400 years ago as a result of transmutation of the socio-cultural component of the SAS the technogenic civilization emerged, the main feature of which is a permanent extension of the "socio-ecological niches" (sphere of control) of Homo sapiens and parallel escalation of risks of the anthro-technological impact

Accordingly, to Bernard Crespi [13], share associated with hereditary diseases structural genes or certain haplotypes demonstrated positive selection pressure during last 10 thousand years of human evolution for 17-21 % for neurological disorders and 15-21 % for other diseases etiology.



In the control group, (pool of genes in that positive selection during the relevant period was not observed) analogous index fluctuated between 21-25 %.

Postponed effects of genetic conflicts within biological module of SESH and between biological module on the one hand, and technological and socio-cultural modules on the other stretched out on millenniums. For example, changing a habitual way of eating (diet), that was peculiar to man until the Neolithic revolution, caused a modification in the metabolism of lipids, proteins, carbohydrates that emerged in late - and post reproductive age. These effects, therefore, are closed for the effect of the biological forms of natural selection. As it is supposed now, the increase of frequency of cardiovascular (stroke, heart attack, atherosclerosis), oncological pathology, diabetes of type II, etc. are linked exactly to them. In addition to this, there is imbalance in the development of the sexual sphere, manifested in the discrepancy between the timing of the start of the menstrual cycle and other components of puberty of women. All this is a clear trend of size of the evolutionary risks inherent in a Western type of technological civilization. (The details of these problems are outlined in a recent book by the Swedish nutritionist, adept of the evolutionary medicine Stefan Lindeberg [25]; the coupled evolution of the human genome and culture, causing to the genesis of the "diseases of civilization" are also examined in the book by Daniel Lieberman [24]. Both researchers consider the transition to a non fruit diet, twhhat was determined by socio-cultural heredity, as a systemic factor that reformatted the structure and meaning of the relationship between biological and behavioral, and then non-genetical adaptations. Later, using the arguments of these researchers we will try to justify the semantic concept of co-evolution as an explanatory model of the transmission mechanism between SESH modules.)

The rating of reduction of adaptability according to this indicator on reaching a certain threshold zone of values or as a result of the same threshold of changes of ecological and cultural environment is cable of fast growth, twhat demands the immediate adaptive response (solving of the problem of survival). Such leap, in fact, is the actualization of evolutionary risk. One of the symptoms of this updating is a systemic effect – distribution beyond the bounds of the initial module to the other components of SESH. So the above-mentioned diseases of Western civilization during the past twentieth century was transformed from a purely medical (i.e. directly related to the biological module) problems on the areas that guide the evolution of socio-cultural module (including the economy).

The evolutionary risk reaches the maximum size in case of antiparallely of dynamics of changes in evolutionary efficiency and evolutionary correctness, when the characteristic size of risk very quickly crosses the boundaries of "physical" sense ( $R_{int} > 1$ ). Reaching this point means irreversible semantic destruction (destruction of the system of value priorities, the central core of which is the concept of humanity and human nature).

It seems logical to make two clarifications. The periods of abrupt increasing of the size of evolutionary risk, obviously, are coherent to the periods of "scientific-technological revolution" and to the periods of radical reconstructions of value systems prevailing in the society. Exactly then the structure of the co-evolution connections between the elementary adaptations of different modules of SESH and actually adaptive value of each element is destabilized and prone to unpredictable stochastic fluctuations.

The system of value priorities dominant in society has several-level structure – the individual (unconditional) interests, group (conventional) requirements, an abstract (universal) values [18; 22]. Here, primarily in the field of group norms and predispostions regarding specific attributes of humanization/dehumanization, relatively rapid reconstructions radically changing the semantic of relations between cultural module and biological and techno-national ones are possible [9]. As a result, the adaptive landscape, in which evolution of, for example, biological module (adaptive significance of individual elements) takes place, is quickly reformatted. As an example we can take a radical revision of value priorities on group and individual level towards traditional and non-traditional sexual orientation in the Western mentality in 1970s-2015s. Universal values are practically not involved in this, not-yet-finished process of transformation of socio-cultural and psychological predispostion.

Thus, we can assume that out of three levels of values priority (and their corresponding socio-cultural predispostions) individual interests, group norms and universal values, the most susceptible to evolutionary transformations are the group norms.

More stable are the individual interests (as most closely associated with the vital needs, determined by biological module) and universal values (as the most abstract, distant from objective reality and close to the rationalistic module). However, the effect of perturbations of group norms – attributes of humanization/dehumanization – diffuses by the means of evolutionary semantic transmission mechanism on the biological module, destroying, in its turn, the rules, of semantic matching of this module with two remaining. Because of this secondary effect the elements of the biological module of SESH are distributed first to the system of objective "interests" and then to other levels of the socio-cultural module. The fixation of a particular set of group norms and then the review of universal values, as the latter are projective reflection of the group norms and individual interests, are taking place.

So, a certain part of the biological adaptation in a new socio-cultural context becomes the elements of genetic load (inadaptive or selectively neutral), and, conversely, a part of harmful or selectively neutral components of the genome are acquire adaptive value. With regard to the technological innovation, together they are definitely aimed at the fragmentation of the biological adaptive complex.

If the value of scientific and technological revolutions (shifts of paradigms) has been investigated (suffice its to recall the classical monograph of Thomas Kuhn of 1962), the evolutionary significance of social and cultural transformation begins to clear up only now. Meanwhile, the socio-cultural inheritance is also able to radical rearrangements of its structure and composition. It takes only to mention the radical change of predisposition regarding sexuality that has occurred in the Western mentality over the past half century. Relative independence of each module is an additional complicating circumstance, as the result of this independence, for example, "macromutation" of the system of cultural and psychological predispositions aimed primarily at preserving the structural distribution of subcultures within a given civilization type, and only then, at the selection of relevant biological elements of SESH module.

However, in the conditions of the relative balance of genetic-cultural ("Gene-culture co-evolution".) and techno-cultural ("Techno humanitarian balance".) co-evolutional semantics and the lack of direct preformative impact of techno-rationalist SESH module on the two left (biological and sociocultural), the configuration of the entire system also did not allow an uncontrolled jump of risk to the existential level.

In our previous works we have already formulated the terms of such semantic stability in terms of socio-humanitarian knowledge: the core of the mentality of the West is the desire of a person to a certain maximum ideal ("Per aspera ad astra – through the thorns to the stars"). It is complemented by the second pivotal construction, paralyzing and, simultaneously, challenging the limits of this ideal ("Ad imaginem suam ad imaginem Dei – In the image and likeness of God") and focuses on the chosen-ness, the absolute priority of the uniqueness of the human person ("Unus ex nobis – One of us" as God says about Adam). Thus the actualization of the desire to bring together the world as it is and the world as it should be gains the character of the movement towards the absolute, the ultimate goal ("the omega point", as named by Teilhard de Chardin) [7, c. 11, 506].

In objectified, dismissed from the metaphors form the same argument boils down to the statement that one of the basic predisposition of mentality of industrial civilization in its Western form, is a trend to release the social roles and social status of an individual from the preformation by conditions of his biological substrate (the genome) as a criterion of social (and evolutionary) progress. This trend, in turn, is balanced by the irrational fear of a possible intervention in the human psyche from the outside that violate the free will of the individual and forcing him to act against his "human nature". This trend can be traced back at least to biblical times and legends about werewolves and vampires, through the Gothic novels of the eighteenth century to modern thrillers and science fiction of the most recent years.

The sociocultural system of counterweights, ensuring the self-identity of Homo sapiens, turned out to be very stable, but only until the birth of the technologies of driven evolution, when ontological antinomy Evolution versus Intelligent Design was finally overcome. As a result, the restrictions arising from the limited technological means for reality transformation turned to be overcome, at least in potentio. The only built-in inside SESH stabilizer of the current of global evolutionary process remains the semantic code of humanization/dehumanization, which in itself allows significant stochastic fluctuations, and is open to technological interventions and therefore needs continuous monitoring.

With the emergence of High-Hume technologies the level of risk is reached the existential level of significance. At this existential level of technological risk means by definition evolutionary risk, because it leads to the genesis of the possibility of the extinction of mankind as a species (but not necessarily intelligent life and the noosphere).

### Conclusion

It seems inevitable that, because of the modular-hierarchical organization SESH in conjunction with multiple autonomous systems and the generation of adaptive replication of information with respect to the formation of long-term evolutionary trends reduce the adaptability of such a module by increasing adaptability of another module. This conclusion is supported by the arguments of the theory of programming and computer science [2; 23]. This trend in the present study, as mentioned above, will be called the evolutionary risk.

In the era when evolution itself becomes a subject of rational control and/or manipulation, it is necessary to calculate when making a projection and determining the amount of innovative risk those features of social response to scientific and technological development, which stems from the substantial foundations of human consciousness and culture and are the result of the previous biosocial evolution.

Modification of techno-cultural balance, which is an adaptive response of the SESH sociocultural component to the processes described above, led to the transformation of classical science to its postacademic form. In the framework of the same global-evolutionary transformation we have to consider the emergence of bioethics as one of the varieties of contemporary (trans-disciplinary) scientific concept, which combines the features of the Humanities, classical scientific theory and social utopia. Not so long ago E. Kunin, was very observant when diagnosed a curious feature of the explanatory models of modern evolutionary biology: all of them are narratives with more or less, but always available portion of teleology. Consciously or not they have, in explicit or implicit form, logical constructs such as "arise for...", the language of these narratives (though it contradicts the methodology of classical not modern, transdisciplinary science) best suits to the describe evolutionary processes and phenomena, and the creation of hypotheses which can be verified by experience [21].

Especially it is true for the modern phase of the evolution of SESH, which is characterized by a universal process of rationalization and technologization of the course of evolution. The introduced concept of evolutionary risk, in which objective and scientific (evolutionary efficiency) and subjective and humanitarian (evolutionary correctness) criteria of the value of this parameter combines, in accordance with the principle of subsidiarity serves as the example of such an explanatory model.

The problem of evolutionary risk and its components is coming within the conceptual field of anthropic principle, since one of the parameters of the equation of the doomsday simultaneously becomes not only a global constant that is crucial to the human genesis in the Universe, but also a derivative from the characteristics of sociocultural and biological evolution. It did not fail to specify One of the pioneers of the anthropic principle Brandon Carter didn't fail to point at this fact [5].

In 1960 Heinz von Foerster has formulated the law of hyperbolic growth in the number of Homo sapiens, also known under the non-academic title "Doomsday Equation" [34]. In accordance with the Foerster's equation, the population growth for approximately the last 10 thousand years, obeys an equation of the hyperbola, i.e. increases with increasing acceleration and about up to 2025 will be infinite, i.e. loses physical meaning. It will mean the end of the evolutionary history of Homo sapiens, although not necessarily imply the death of intelligent life at all. Rather, it means the passage of a certain point of the evolutionary singularity, the achievement of the value of evolutionary risk close to unit.

In the Foerster's equation there is the parameter  $T^*$ , which had been empirically calculated by the authors and according to them was about 2.10<sup>11</sup>. Brandon Carter in the work cited above [5] considers this option as a member of the pool of world constants that determined the emergence of human and the formation of the laws of nature of civilization that are able to reflect. In his understanding this value is a function of the amount of information (10<sup>10</sup> bits) contained in the human genome and the duration of existence of one generation (20 years). By reducing this parameter below the threshold value, the transition from biological to sociocultural, and then technological phases of anthropogenesis (phases II-III in our periodization of the evolution of SESH) becomes impossible.

And phenomenological interpretation and explanatory model of the Foerster's Domsday Equation quite consistent with the notion about the organization of SESH and the mechanisms of formation of evolutionary risk, advocated in the present study.

On the one hand, the population growth increases the frequency of techno-rationalist and socio-cultural innovations/adaptations and the speed of their distribution in the population, which in accordance with Lamarck's module flows through contagious mechanism. Thereby the ecological niches available for the development of Homo sapiens are expanded, and the conditions for further acceleration of population growth are created [22].

On the other hand, the integrity of the structure three-module SESH means the availability of some inter-module communicational correspondences between the elements of biological and socio-cultural modules of the co-evolutional semantics. Even under the condition of the ambiguity of semantic connections between modules with exceeding of a certain threshold in the number of adaptive socio-cultural elements in comparison with the pool of biologically determined signs, that are comparable to them, the efficiency of genesis of adaptation decreases sharply. Externally it is manifested in the accumulation of genetic and cultural imbalances, inconsistencies between the demands of the sociocultural environment and psycho-physiological capabilities of the organism (evolutional load). In the first approximation, the threshold, beyond which the area of the fracture of the curve of population growth begins, will be attainment of the volume of adaptive information that is replicated with the help of socio-cultural inheritance, the value comparable with the volume of information accumulated in the genome. This situation has two fundamental but alternative evolutionary solutions.

The first ("hard") decision means the technologization of biological evolution of human, i.e. the improvement (enhancement) of Homo sapiens through genetic engineering, etc. technologies, resulting, as already mentioned, in the completion of the evolutionary history of humanity (the loss of self-identity of generations of intellect carrier).

"Soft" solution involves the creation of a radically transformed version of the evolutionary semantics for regulating the flow of gene-cultural co-evolution and techno-humanitarian balance. The newly established co-evolutionary semantics should provide the best match of the biological and techno-rationalistic modules to the so-called universal value priorities, preserving the self-identity of the carriers of the mind.

This final observation, in turn, determines civilizational and evolutionary function of bioethics. Bioethics is largely methodological one. In other words, it is a metatheory, which, we hope, can serve as a stabilizer for the system of attributes-identifiers of human self-identity, as well as for the system of cultural-mental predispositions formed on their basis. This system maintains the existence of the current version of evolutionary semantics NBIC-technological complex within the "universal values", ensuring the preservation of humanity in the process of permanent development of technologies, directed to the subject of the evolutionary process.

### References:

1. Applied Evolutionary Anthropology. Darwinian Approaches to Contemporary World Issues. N.Y.; Heidelberg; Dordrecht; L.: Springer, 2014. P. 299.
2. Banzhaf W. Genetic Programming and Emergence // Genet Program Evolvable Mach. 2014. Vol. 15, No 1. P.63–73
3. Barthes J., Godelle B., Raymond M. Human social stratification and hypergyny: toward an understanding of male homosexual preference // Evolution and Human Behavior. 2013. Vol. 34. P. 155-163.
4. Borinskaya S. A., Yankovsky N. K. Combination genetic and humanitarian (cross-cultural) methods for identifying human genes involved in the process of adaptation to the evolutionary new environmental factors//Genetics. 2015. Vol. 51, No. 4. P. 479-490. (In Russian)
5. Carter B. Hominid evolution: genetics versus memetics // Intern. Journ. Astrobiol. 2012. Vol. 11, No 1. P. 3–13.
6. Cheshko V.T., Ivanitskaya L. V., Kosova Y. V. Configuration of Stable Evolutionary Strategy of Homo Sapiens and Evolutionary Risks of Technological Civilization (the Conceptual Model Essay) // Biogeosyst. Tech., 2014, Vol.1, № 1. P. 58-69.
7. Cheshko V.T. Stable adaptive strategy of Homo sapiens: Monograph. Kharkov: Publ.House "INZHEK", 2012. 596 p. (In Russian)

8. Cheshko V.T., Ivanitskaya L.V., Glazko V.I. Evolutionary Risk of HIGH HUME technologies. Article 1, 2 // *Integrat. Anthropology*. 2014. № 2. P. 4-14; 2015. № 1. P. 4-15. (In Russian)
9. Cheshko V.T., Peredyadenko A.S. Descriptive and socio-cultural (ethical) components of the structure of evolutionary risks of genetic engineering technological complex // *Ecology Herald*, 2015. № 1. P. 64-72. (In Russian)
10. Chiao Joan Y., Blizinsky Katherine D. Culture–gene coevolution of individualism–collectivism and the serotonin transporter gene // *Proc. Royal. Soc.* 2010. Ser.B. Vol. 277. P. 529-537.
11. Cousins S.D. A semiotic approach to mind and culture // *Culture & Psychology*. 2012. Vol.18, No 2. P. 149–166.
12. Cousins S.D. The semiotic coevolution of mind and culture // *Culture & Psychology*. 2014. Vol. 20, No 2. P. 160–191.
13. Crespi B. J. The origins and evolution of genetic disease risk in modern humans // *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 2010. Vol. 1206. P.80–109
14. Dudley R. *The drunken monkey: why we drink and abuse alcohol* / R. Dudley. Berkeley; Los Angeles; L.: University of California Press, 2014. 179 p.
15. The Evolution and Functional Impact of Human Deletion Variants Shared with Archaic Hominin Genomes / Yen-LungLin, P.Pavlidis, E. Karakoc, J.Ajay, O. Gokcumen <http://mbe.oxfordjournals.org/content/early/2015/01/22/molbev.msu405-aff-1> // *MolBiolEvol* 2015. doi:10.1093/molbev/msu405
16. The evolution of lactase persistence in Europe. A synthesis of archaeological and genetic evidence / M. Leonardi, P. Gerbault, M. G. T., J. Burger // *International Dairy Journal*. 2012. Vol. 22. P. 88-97.
17. Glazko V.I. Shaping and microevolution: livestock formation, metabolomics, SubGenome // *Farm animals*. 2014. № 1. P. 20-32
18. Grinin LE The state and the historical process. The era of state formation: the overall context of social evolution in the formation of the state. M.: Book Kom, 2007. 272 p. (In Russian)
19. Hall K.T., Loscalzo J., Kaptchuk T.J. Genetics and the placebo effect: the placebome // *Trends in Molecular Medicine*. 2015. P. 1–10 <http://dx.doi.org/10.1016/j.molmed.2015.02.009>
20. Kohlberg L. Stage and sequence: The cognitive-developmental approach to socialization. // *Handbook of Socialization Theory and Research*. Chicago: Ran McNally. 1969. P. 347–480.
21. Koonin E.V. *The Logic of Chance: The Nature and Origin of Biological Evolution* NrW Jesey: Person Edcation, 2011. 528 p.
22. Kapitza S.P. *Global population blowup and after the demographic revolution and information society*. Hamburg: Global Marshall Plan Initiative, 2006. 272 p.
23. Leier A. Emergence in simulated evolution // *Genet Program Evolvable Mach.* 2014. Vol.15. No 1. P. 79–81
24. Lieberman D. *The story of the human body: evolution, health, and disease*. N.Y.: Pantheon.2013. 480 p
25. Lindeberg S. *Food and Western Disease: Health and nutrition from an evolutionary perspective*. Oxford: Wiley-Blackwell, 2010. 370 p.
26. Maran T., Kleisner K. Towards an Evolutionary Biosemiotics: Semiotic Selection and Semiotic Co-option // *Biosemiotics*. 2010, Vol. 3, No 2. P 189-200
27. Maran, T., Kull, K. Ecosemiotics: main principles and current developments // *Geografiska Annaler: Series B, Human Geography* 2014. Vol. 96. No 1. P. 41–50
28. Milbrath C. Socio-cultural selection and the sculpting of the human genome: Cultures’directional forces on evolution and development, *New Ideas in Psychology*. 2013. Vol.31, No 3. P. 390-406.
29. Neural Correlates of Post-Conventional Moral Reasoning: A Voxel-Based Morphometry Study / K. Prehn, M. Korczykowski, H. Rao, Zhuo Fang, J.A. Detre, D.C. Robertson // *PLoS One*. 2015. Vol. 3, No 10(6). Publ.e0122914. DOI: 10.1371/journal.pone.0122914.
30. O’Brien M. J., Laland K. N. Genes, Culture, and Agriculture: An Example of Human Niche Construction // *Current Anthropology*. 2012. Vol. 53, No. 4. P. 434-470.
31. Runciman W. G. *The Theory of Cultural and Social Selection-* Cambridge: Cambridge University Press. 2009. P. 257.

32. Schinka J.A., Letsch E.A., Crawford F.C. DRD4 and Novelty Seeking: Results of Meta-Analyses // Amer. Journ. of Med. Genet. 2002. Vol. 114. P. 643–648.
33. Tooby J., De Vore I. The reconstruction of hominid behavioral evolution through strategic modelling // The evolution of human behavior: primate models. Ed. W. G. Kinzey, N.Y.: SUNY Press. 1987. P. 183–227.
34. Von Foerster H., Mora P. M., Lawrence L.W. Doomsday: Friday, 13 November, A.D. 2026 // Science 1960. Vol. 132, No. 3436. P. 1291-1295.
35. Wells J.C.K. Ecological Volatility and Human Evolution: A Novel Perspective on Life History and Reproductive Strategy // Evolutionary Anthropology. 2012. Vol. 21. P. 277–288.
36. Whiten A., Erdal D. The human socio-cognitive niche and its evolutionary origins // Phil. Trans. Roy. Soc. 2012. Ser. B. Vol. 367. P. 2119-2129.

УДК 616:572.1/.4:504.03(8)

### Эволюционная семантика антропогенеза и биоэтика nbic-технологий

<sup>1</sup> Валентин Федорович Чешко

<sup>2</sup> Юлия Викторовна Косова

<sup>3</sup> Валерий Иванович Глазко

<sup>1</sup> Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина, Украина  
пл. Свободы, 4, Харьков 61022

Доктор философских наук, кандидат биологических наук, профессор, ведущий научный сотрудник, акад. РАЕН

E-mail: cheshko@karazin.ua

<sup>2</sup> Харьковский национальный экономический университет им. С. Кузнеца, Украина  
просп. Ленина, 9А, Харьков 61166

Преподаватель

E-mail: yulia.kosova@gmail.com

<sup>3</sup> Российская академия наук, Российская Федерация

Доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик РАН (иностран. член)

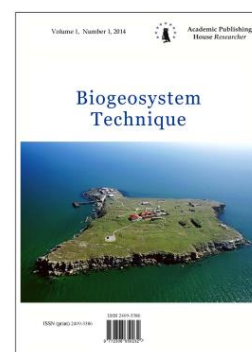
**Аннотация.** Разрабатывается коэволюционная концепция трехмодульной стабильной эволюционной стратегии Homo sapiens, которая основана на принципе эволюционной дополнителности: величина эволюционного риска и эволюционная траектория антропогенеза определяется одновременно двумя параметрами - спонтанно-дескриптивным (эволюционная эффективность) и креативно-телеологическим (эволюционная корректность), которые невозможно инструментально редуцировать друг к другу. Соотносительные значения обоих параметров определяют векторы биологической, социокультурной и техно рационалистической эволюции человека через два передаточных механизма - генно-культурную коэволюцию и техно гуманитарный баланс. Предлагается объяснительная модель и методология расчета креативно-телеологического компонента эволюционного риска NBIC технологического комплекса. Механизм влияния каждого модуля на эволюцию двух оставшихся модулей SASH и r1010 может быть двойственным: (1) информационная коэволюция (Прямое селективное давление) и (2) семантическая коэволюция (изменяющийся во времени семантический код, обеспечивающий соответствие биологического, социокультурного и техно-рационалистического адаптивных модулей). Семантическая коэволюция является дискретным приобретением адаптивного значения отдельными аллелями при смене социокультурного типа и проявляется как возрастание генетической вариабельности популяции человека и одомашненных видов параллельно социо-культурогенезу. Предполагается существование радикальных различий в социо-культурном эволюционном ландшафте Атлантического и Восточно-славянского этносов/цивилизаций.

**Ключевые слова:** эволюционная семантика, nbic-технологии, коэволюционная концепция.

Copyright © 2015 by Academic Publishing House *Researcher*

Published in the Russian Federation  
Biogeosystem Technique  
Has been issued since 2014.  
ISSN: 2409-3386  
E-ISSN: 2413-7316  
Vol. 5, Is. 3, pp. 267-285, 2015

DOI: 10.13187/bgt.2015.5.267  
[www.ejournal19.com](http://www.ejournal19.com)



UDC 631.41

### Ion's Association in Soil Solution among the Drivers of Biogeosystem Dynamics

<sup>1</sup> Anatoly P. Endovitsky

<sup>2</sup> Angrey G. Andreev

<sup>3</sup> Taniana M. Minkina

<sup>4</sup> Valery P. Kalinichenko

<sup>1, 2, 4</sup> Institute of Fertility of Soils of South Russia, Russian Federation  
346493 Persianovska, Rostov Region

<sup>3</sup> Southern federal university, Russian Federation  
344006 Rostov-on-Don, Bolshaya Sadovaya Str., 105

<sup>1</sup> Expert

<sup>2</sup> PhD (Biology), Expert

<sup>3</sup> Dr (Biology), professor

E-mail: [tminkina@mail.ru](mailto:tminkina@mail.ru)

<sup>4</sup> Dr (Biology), professor, director

E-mail: [kalinitch@mail.ru](mailto:kalinitch@mail.ru)

#### Abstract

Biogeosystem change is linked to ion's association in soil solution. The concern of carbon sequestration problem is a soil as carbon sink drain. The carbonate calcium equilibrium (CCE) in soil solutions is important to characterize the degree soil solutions saturation with  $\text{CaCO}_3$  as a factor of terrestrial system carbonate geochemical cycle. CCE depends on the state of the chemical composition, pH, Eh, buffering properties of soil liquid phase, dissolution, migration, precipitation of carbonates in the soil profile and landscape, ion exchange processes at the interface of solid and liquid phases. At high ionic force in soil solution are formed electrically neutral ion pairs  $\text{CaCO}_3^0$ ;  $\text{CaSO}_4^0$ ,  $\text{MgCO}_3^0$ ,  $\text{MgSO}_4^0$ , charged ion pairs  $\text{CaHCO}_3^+$ ,  $\text{MgHCO}_3^+$ ,  $\text{NaCO}_3^-$ ,  $\text{NaSO}_4^-$ ,  $\text{CaOH}^+$ ,  $\text{MgOH}^+$ .

The object of research – Southern Russia; saline chestnut soil, dry steppe zone; non-saline chernozem, steppe zone. The soil solution was extracted from soil layers 0-150 cm. Composition of soil solution was determined using standard analytical methods. The soil system is the object of mathematical thermodynamic modeling, because it is impossible to remove the solution from dry soil, on the other hand, the extraction of solution change the chemical equilibrium in solution. The approach to soil disperse system model is proposed as a discreet partially insulated form one another micro-water-basins on the internal surfaces of soil. This approach gives a new understanding of water-salt transfer, geochemical barrier functions and ecological properties of soil.

On the basis of CCE algorithm, the computer programs were developed to calculate the real equilibrium ion forms and determine the nature of carbonate-calcium balance in the soil solution. The mathematical model shows the real state of associated ions at different ionic strength of low saline and saline soil solution. The concentration of free and associated macro-ion forms were calculated in iteration procedure according analytical ion concentration considering ion material balance, linear interpolation of equilibrium constants, method of ionic pairs, laws of: initial

concentration preservation, operating masses of equilibrium system. Concentration constants of ion pairs dissociation were calculated following the law of operating masses. Were determined the quantity of ion free form and coefficient of ion association  $\gamma_e$  as a ratio of ions free form to its analytical contents  $\gamma_e = C_{\text{ass}} / C_{\text{an}}$ . The association of ions is higher in saline soil layers. Depending on composition and ionic force  $c$  of soil solution in the form of ionic pairs are: 11-52%  $\text{Ca}^{2+}$ ; 22.2-54.6%  $\text{Mg}^{2+}$ ; 1.1-10.5%  $\text{Na}^+$ ; 3.7-23.8  $\text{HCO}_3^-$ , 23.3-61.6%  $\text{SO}_4^{2-}$ , up to 85.7%  $\text{CO}_3^{2-}$ .

To interpret a behavior of heavy metal in soil solution an additional equation for microelements is proposed for the mathematical model of macro-ions.

The proposed thermodynamic calculation method for the real ion forms quantitative assessment in soil solution shows that in salted soils a chemical equilibrium in the soil solution causes a dissolved carbonate forms at high concentration of soil solution. It determines a high mobility of carbonates. Carbonate system of the soil solution is most important because on its state depends the nature of basic processes affecting formation and development of a certain type of soil. The nature of the calcium carbonate equilibrium soil is a cause why using an analytical concentration of ions only is observed the high calculated saturation degree of soil solutions with  $\text{CaCO}_3$ . The association of ions in soil solutions is one of the geochemical drivers promoting transformation of solution, salt and heavy metal migration and accumulation in disperse system, soil genesis, excessive fluxes of carbon into soil, carbon sink from soil and biosphere to lithosphere and other geospheres.

**Keywords:** soil solution, carbonate calcium equilibrium, ion's association, mathematical thermodynamic model, carbon sink.

### Introduction

Biogeosystem change is linked to regularities of soil solution's formation, metamorphism, as well as its dissolution, saturation and precipitation in soil and lithosphere. The formation of chemical composition of soil solution is very complex process. One factor is a chemical equilibrium in soil solution – carbonate calcium equilibrium (CCE). CCE depend on the state of the chemical composition, pH, Eh, buffering properties of liquid phase, dissolution, migration, precipitation of carbonates in the soil profile and landscape, ion exchange processes at the interface of solid and liquid phases. On the contrary, to the great extend the CCE in its turn influence the soil pH, Eh and buffering properties.

The knowledge of CCE is a base for calculation of solubility  $\text{CaCO}_3$  and other ingredients of soil solution [12, 28, 68, 70].

The uncertainties are found of aquatic and terrestrial systems physical and biogeochemical models, the need to improve these models is declared [91].

The carbon sequestration and climate engineering are to be based on assessment of the role of soil and soil solution as a carbon sink drain. Biosphere uncertainties, climate extremes are linked to geochemical cycles in the terrestrial biosphere soil [8], water systems [58]. It has a profound implication for society, biosphere and climate system [89, 93]. The heterogeneity in carbon stream is caused by landscape. The boreal landscape is known as an important source of dissolved organic carbon [2]. In the semiarid and arid catchments the soil solution equilibrium causes the carbon mobility into the soil. In these circumstances, the probability of uncontrolled carbon stream out of the soil and biosphere is high.

The data are obtained on increasing anthropogenic influence on the carbon cycle [9]. The biogeosystems are sensitive to change of carbon stocks [77]. The sinking of carbon is one of the leading components of the carbon cycle and global climate system [44]. The excessive saturation of water with  $\text{CaCO}_3$  gives on adverse biogeochemical effect [30]. It is important to quantify the carbon source/sink nature, determine its drivers [105].

Soil solution equilibrium helps to represent properly the function of soil and vegetation [66]. CCE of water and terrestrial systems influences the growth of leading agents of biosphere – water and soil organisms [103]. Soil solution varies on temporal and spatial scales [67]. The meaning of qualified management of biosphere is great concerning dangerous anthropogenic influence on soils. The problem of carbon cycle is linked to release of entrapped methane when the soil is disturbed [78]. CCE provides understanding of key biogeochemical element cycles. The sinks and



sources of carbon are the key point for the proper assessment of terrestrial and aquatic ecosystem's drivers of atmospheric CO<sub>2</sub> concentration, biosphere functioning and climate models [84].

The problem of global climate changing drivers is discussed mainly in a framework of human activities, in particular anthropogenic emissions of CO<sub>2</sub> [96]. Nevertheless, the problem is not simple. For example, from the point of view of life conditions the sequestration of CO<sub>2</sub> on the Venus is urgent. But if the carbon sequester on the Earth will be endless, the life conditions will be lost because of carbon deficit. This deficit will appear locally and even commonly without measures to control the carbon and other elements migration, transformation, accumulation and loss from biosphere. This is a reason why there are significant uncertainties in understanding the role of soil mineral and organic carbon deposits in the global C cycle [108].

Unfortunately, there are real prospects to aggravate anthropogenic dangers by awkward efforts to "correct" the Nature. An opinion to mitigate the large-scale climate effects of human CO<sub>2</sub> using the Ocean as a large sink for anthropogenic CO<sub>2</sub> [44] is to be discussed carefully and specially because due to this kind of artificial sink the carbon will be back into Biosphere only millions years later on.

Phenology is discussed as the way to understand the biogeochemical cycles and the climate system [15]. Unfortunately, there is obvious desire of scientific society part only to collect and analyze data, and do not take any action to maintain the biosphere situation properly.

The soil is an important part of terrestrial system. The water solution is an agent of soil properties. In every special case the soil solution as a carrier of soluble matter has a different structure, mineralization according to biogeosystem's properties. The soil solution is the most mobile, volatile and active part of the Pedosphere. Soil solution composition varies. In soil solution are observed the destruction and synthesis of organic substances, secondary minerals, organomineral compounds [5, 41, 107]. CCE of the soil solution is important for understanding the origin of soil and biogeosystems.

The mineralization of soil solution varies because of geological and biological composition of the local biogeosystem, regional and local water-mass-transfer, wetting and drying circles of the soil, biological process in the soil. CCE is important for proper modeling of heavy metals state and transfer in soil and landscape [6, 25, 29, 85].

Important world problem is the soil anthropogenic heavy metal contamination and transfer [14, 18, 19, 33, 34, 37, 39, 40, 42, 43, 47, 54, 57, 59, 60, 63, 65, 75, 76, 80, 81, 88, 94, 101, 106, 112, 113, 116].

The properties and structure of water solution are the function of its chemical equilibrium [11, 13, 20, 21, 31]. The higher is ionic strength of solution, the more ions pass to the form of ions associates (1, 56, 82, 99). The fact is known for the waters of ocean and low mineralized waters of storage reservoirs [55]. Ion's association in water calcium carbonate system helps to explain the natural water oversaturation with carbonates, migration and accumulation of carbonates [68]. The reason of excess saturation of water with CaCO<sub>3</sub> is the ions association to ionic mineral and organic complexes [69]. Carbonate system of water solution is under the influence of biological process, soil-atmosphere gas exchange, partial pressure and seasonal cycles of CO<sub>2</sub>.

It should be noted that under natural conditions not content of HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> and H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> in soil solution depends on pH, but namely the ratio of forms of CCE determines the pH value, buffering and redox properties of the soil solution, nature of ion exchange in the system "solid phase – solution", solubility of many mineral and organic compounds.

The precipitation or dissolution of CaCO<sub>3</sub> is linked to removal or reception of Ca<sup>2+</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> and CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>. The ionic composition of the soil solution reflects the carbonate equilibrium, determines a type of migration and accumulation of various forms of carbonate formations in the soil profile.

An important characteristic of CCE is the degree of saturation of the soil solutions with CaCO<sub>3</sub>. However, it does not give a clear answer to the question about the formation of CaCO<sub>3</sub>. The studies of carbonate equilibrium in surface waters shows that saturation or supersaturation of natural waters with CaCO<sub>3</sub> reflects only the possibility to form a precipitate, but the CaCO<sub>3</sub> not always precipitates from supersaturated water solutions. The relationship between degree of saturation of solutions with CaCO<sub>3</sub> and its precipitation depends on physicochemical and biochemical processes, which controls CaCO<sub>3</sub> precipitation.

A cause of supersaturated CaCO<sub>3</sub> solution's sustainability varies relating the properties of calcium hydrocarbonate solution. The first is formation of a solid phase which chemical composition differs from the solution. The second – at extremely low concentration of CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> ions in

solution the spatial orientation of ion is required for onset of crystallization, which is probably hampered by the huge number of surrounding ions  $\text{HCO}_3^-$ . One more reason which determines the high degree of calculated saturation of soil solution with  $\text{CaCO}_3$  is a complexation of  $\text{Ca}^{2+}$  with organic matter.

The soil solution determines the dynamics of its material composition, migration and accumulation of salts into the disperse system of soil continuum and landscape. The soil solution equilibrium plays important role in the genesis and evolution of soil. In the soil solution are formed electrically neutral ion pairs  $\text{CaCO}_3^\circ$ ;  $\text{CaSO}_4^\circ$ ,  $\text{MgCO}_3^\circ$ ,  $\text{MgSO}_4^\circ$ , charged ion pairs  $\text{CaHCO}_3^+$ ,  $\text{MgHCO}_3^+$ ,  $\text{NaCO}_3^-$ ,  $\text{NaSO}_4^-$ ,  $\text{CaOH}^+$ ,  $\text{MgOH}^+$ . Communications between the associated ions in soil solution are much more diverse comparing to water systems [41, 55, 82, 87, 102, 104, 115].

Another important property of soil solution is the strong dependence on soil moisture, interaction between soil solution and soil disperse system. The sampling of soil solution leads to destruction of its links to disperse system of soil. So the solution extracted from soil does not completely correspond to the properties of native soil solution. On this reason the modeling of soil solution composition at different stage of water, salt and organic matter content in the soil to the some extend is more important than direct analyzing of extracted soil solution itself.

Ionic strength of the soil solution varies from 0.05 (almost ideal chemical solution after rain in upper horizon of non-saline soil) to 0.5 and more (dry saline soil). Every variant can be observed in rather short time period in the same discrete part of soil continuum. In special cases the ionic strength of soil solution can be so high as it will be even better to use the lows of quasicrystalline water structure, supercritical water [46, 86] to describe the system properly. In recent years, the modern nonthermodynamic techniques are used for modeling the associated ion pairs in nanotubes [45, 62], ion pair association in supercritical water and other conditions [17, 86, 92], to develop the methods of computer modeling of ion pair formation in electrolyte, ion pair as a simulation of hybrid excitations in solution [53, 61, 64, 86, 87]. In recent years the improved methods of direct ion pair study are used [10, 109, 110]. Of great importance are the possibilities of carbon nanotubes as a factor of soil minerals and soil solutions interaction, cation exchange on montmorillonite, nutrition, soil colloids stability, biodiversity concern, soil monitoring research [92, 104, 111, 115].

The mentioned data and models confirm the basic tenets of the theory of ion association solution and thermodynamic model of macro-processes of saturation in soil solution, transfer, metamorfization and accumulation of salts in the three-dimensional soil continuum [74]. For the most cases of real soil solution it is enough to use the lows of thermodynamics.

The thermodynamics mathematical models of soil solution equilibrium is proposed. The models were tested on experimental empirical data.

### Materials and methods

Study Area. The South-East of the Russian Federation.

Objects of research. The dry steppe chestnut saline solonchic soil and chernozem of Southern Russia. The climate is semi-arid, arid. annual precipitation of 350-500 mm, the parent rocks are Carbonate and Carbonate-sulfate loess-like loam and clay. The solonchic soil is moderately thick, medium solonized, humus 2.6%, physical clay 47.7%, clay 29.5%,  $\text{CaCO}_3$  0.15% (up to 3-10% at the depth of 0,8-1,5 m), pH = 7.8, exchangeable cations:  $\text{Ca}^{2+}$  – 182 mmol/kg,  $\text{Mg}^{2+}$  – 65 mmol/kg,  $\text{Na}^+$  – 34 mmol/kg<sup>□</sup>. The chernozem common is thick, not solonized, humus 4.2%, physical clay 49.3%, clay 31.3%,  $\text{CaCO}_3$  0.14% (up to 3-6% at the depth of 1,3-1,6 m), pH = 7.8, exchangeable cations:  $\text{Ca}^{2+}$  – 342 mmol/ kg,  $\text{Mg}^{2+}$  – 27 mmol kg<sup>-1</sup>,  $\text{Na}^+$  – 6 mmol/kg<sup>□</sup>.

The applied methods of field, analytical research and statistical methods are standard [7, 16, 36, 74, 107, Microsoft Excel 2010].

Modeling. The basic processes of soil formation and development depend on the CCE. CCE includes a number of dynamic equilibriums (Fig. 1).

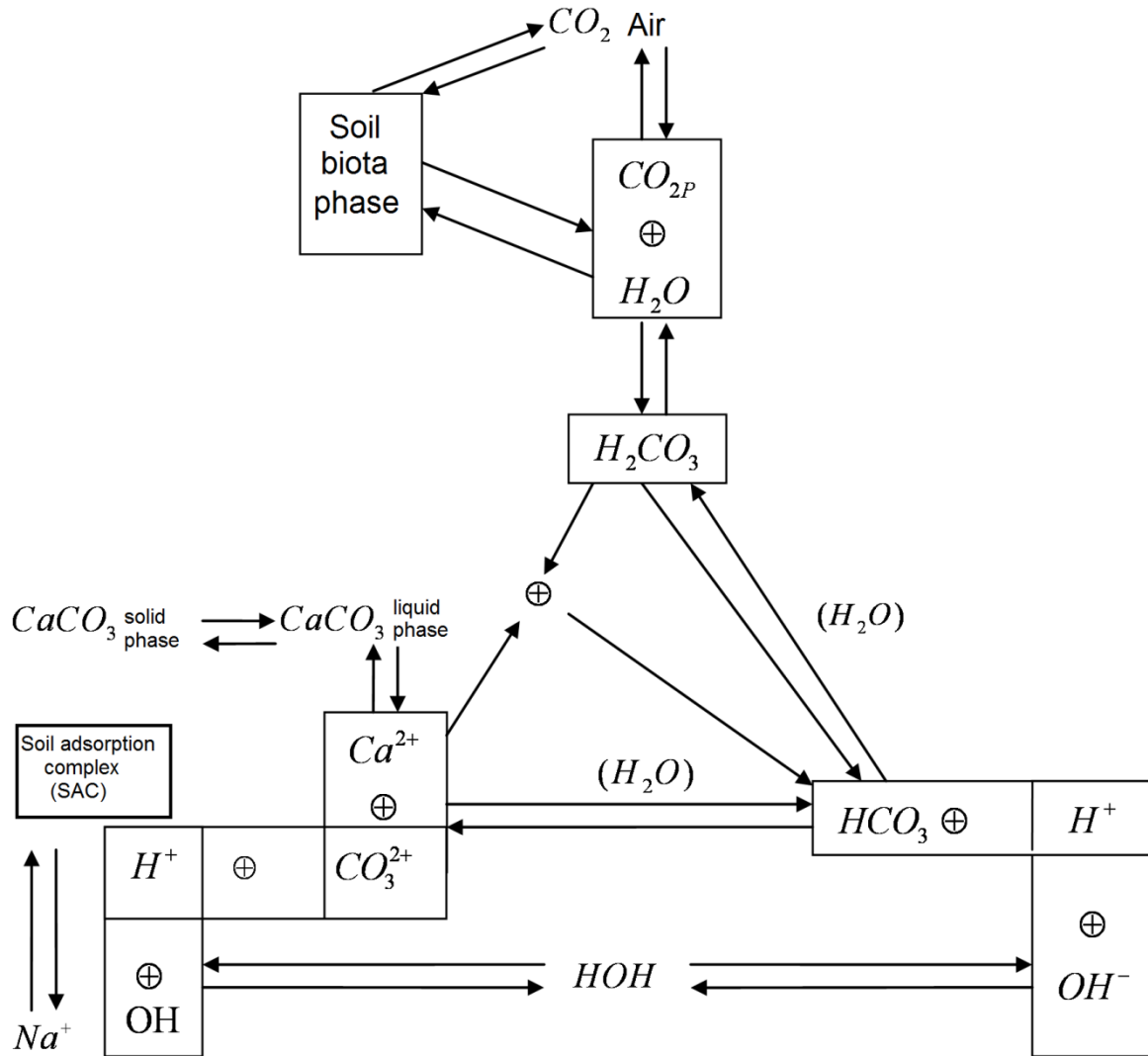


Fig. 1. Calcium carbonate equilibrium system of soil solution

CCE system of soil solution is an adsorption-hydration balance between solid, solution, gas and bioorganic phases. This balance includes step dissociation of carbonic acid; calcium carbonate-equilibrium between solution, soil absorbing complex, sediments of CaCO<sub>3</sub> and solid phase, the ion equilibrium of water, a degree of solution's saturation with CaCO<sub>3</sub>. The deposition or dissolution of CaCO<sub>3</sub> caused by receipt or removal of Ca<sup>2+</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> and CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> from solution, as well as carbonate equilibrium shift, influence the ionic composition of the soil solution and determine the type of migration and accumulation of various forms of carbonate forms through the soil profile, thus – a certain soil type formation and development [3].

The dry residual of saline soil solution is rather high, the analytical composition is typical for dry steppe chestnut saline solonetzic soil of Southern Russia. The state of ions in such solution is influenced with high ionic strength and ion's association in soil solution.

The chernozem soil of Southern Russia is of rather high humidifying, so to its characteristic the water extract (1:5) was used.

The analytical composition of solution rather adequately characterizes the chemical system at a low concentration of the main ions in diluted solution. The measure of real participation of salts and separate ions in soil chemical reactions is their activity.

Was determined a real state of the main ions in soil solutions on the basis of ionic strength and ion's association. The models of soil solution equilibrium was proposed [23, 26, 27, 68, 72, 73].

On the basis of CCE algorithm the computer programs were developed to calculate the real equilibrium forms of ions and determine the nature of carbonate-calcium balance in the soil solutions.

Using analytical data the forms of main ions in soil solution are calculated, the Method of Ionic Pairs (MIP) [1]. The components of algorithm are: the law of initial concentration preservation, the law of the operating masses of chemical equilibrium system.

The mathematical model includes the concentration of free and associated forms of ions calculation according to the sum of ion's analytical concentration. To carry out the calculation are applied: iteration to solve the system of algebraic equations of the material balance of ions; linear interpolation to calculate the values of tabulated equilibrium constants according to calculated data.

The equations of main ions material balance are as follows. Equations (1-6):

$$\Sigma \text{Ca}^{2+} = [\text{Ca}^{2+}] + [\text{CaCO}_3^0] + [\text{CaHCO}_3^+] + [\text{CaSO}_4^0] \quad (1)$$

$$\Sigma \text{Mg}^{2+} = [\text{Mg}^{2+}] + [\text{MgCO}_3^0] + [\text{MgHCO}_3^+] + [\text{MgSO}_4^0] \quad (2)$$

$$\Sigma \text{Na}^+ = [\text{Na}^+] + [\text{NaCO}_3^-] + [\text{NaSO}_4^-] \quad (3)$$

$$\Sigma \text{CO}_3^{2-} = [\text{CO}_3^{2-}] + [\text{CaCO}_3^0] + [\text{MgCO}_3^0] + [\text{NaCO}_3^-] \quad (4)$$

$$\Sigma \text{HCO}_3^- = [\text{HCO}_3^-] + [\text{CaHCO}_3^+] + [\text{MgHCO}_3^+] \quad (5)$$

$$\Sigma \text{SO}_4^{2-} = [\text{SO}_4^{2-}] + [\text{CaSO}_4^0] + [\text{MgSO}_4^0] + [\text{NaSO}_4^-] \quad (6)$$

where,  $[\text{Ca}^{2+}]$ ,  $[\text{Mg}^{2+}]$  – the equilibrium concentration of the free form of ion,  $[\text{CaCO}_3^0]$ ,  $[\text{MgCO}_3^0]$ , – equilibrium concentration of ion in associated form (ion pair).

For groups of cation the concentration constants of ionic pair dissociation follow the law of operating masses. Equations (7-9):

$$K_{\text{CaCO}_3} = \frac{[\text{Ca}^{2+}][\text{CO}_3^{2-}]}{[\text{CaCO}_3^0]}; \quad K_{\text{CaHCO}_3} = \frac{[\text{Ca}^{2+}][\text{HCO}_3^-]}{[\text{CaHCO}_3^+]}; \quad (7)$$

$$; \quad K_{\text{CaSO}_4} = \frac{[\text{Ca}^{2+}][\text{SO}_4^{2-}]}{[\text{CaSO}_4^0]}$$

$$K_{\text{MgCO}_3} = \frac{[\text{Mg}^{2+}][\text{CO}_3^{2-}]}{[\text{MgCO}_3^0]}; \quad K_{\text{MgHCO}_3} = \frac{[\text{Mg}^{2+}][\text{HCO}_3^-]}{[\text{MgHCO}_3^+]}; \quad (8)$$

$$K_{\text{MgSO}_4} = \frac{[\text{Mg}^{2+}][\text{SO}_4^{2-}]}{[\text{MgSO}_4^0]}$$

$$K_{\text{NaCO}_3} = \frac{[\text{Na}^+][\text{CO}_3^{2-}]}{[\text{NaCO}_3^-]}; \quad K_{\text{NaSO}_4} = \frac{[\text{Na}^+][\text{SO}_4^{2-}]}{[\text{NaSO}_4^-]}. \quad (9)$$

The equilibrium concentration of ionic pair was replaced in equations 1-6 with its value according to relevant dissociation constant from equations (7-9). The system of equations of material balance of ions was transformed as follows. Equations (10-15):

$$\Sigma \text{Ca}^{2+} = [\text{Ca}^{2+}] \left( 1 + \frac{[\text{CO}_3^{2-}]}{K_{\text{CaCO}_3}} + \frac{[\text{MgCO}_3^0]}{K_{\text{CaHCO}_3}} + \frac{[\text{SO}_4^{2-}]}{K_{\text{CaSO}_4}} \right) \quad (10)$$

$$\sum \text{Mg}^{2+} = [\text{Mg}^{2+}] \left( 1 + \frac{[\text{CO}_3^{2-}]}{K_{\text{MgCO}_3}} + \frac{[\text{HCO}_3^-]}{K_{\text{MgHCO}_3}} + \frac{[\text{SO}_4^{2-}]}{K_{\text{MgSO}_4}} \right) \quad (11)$$

$$\sum \text{Na}^+ = [\text{Na}^+] \left( 1 + \frac{[\text{CO}_3^{2-}]}{K_{\text{NaCO}_3}} + \frac{[\text{SO}_4^{2-}]}{K_{\text{NaSO}_4}} \right) \quad (12)$$

$$\sum \text{CO}_3^{2-} = [\text{CO}_3^{2-}] \left( 1 + \frac{[\text{Ca}^{2+}]}{K_{\text{CaCO}_3}} + \frac{[\text{Mg}^{2+}]}{K_{\text{MgCO}_3}} + \frac{[\text{Na}^+]}{K_{\text{NaCO}_3}} \right) \quad (13)$$

$$\sum \text{CO}_3^- = [\text{HCO}_3^-] \left( 1 + \frac{[\text{Ca}^{2+}]}{K_{\text{CaHCO}_3}} + \frac{[\text{Mg}^{2+}]}{K_{\text{MgHCO}_3}} \right) \quad (14)$$

$$\sum \text{SO}_4^{2-} = [\text{SO}_4^{2-}] \left( 1 + \frac{[\text{Ca}^{2+}]}{K_{\text{CaSO}_4}} + \frac{[\text{Mg}^{2+}]}{K_{\text{MgSO}_4}} + \frac{[\text{Na}^+]}{K_{\text{NaSO}_4}} \right) \quad (15)$$

According to Davies equation for constant the concentration constant of dissociation in equations (10-15) was recalculated. Equation (16):

$$\text{pK} = \text{pK}^0 - A\Delta Z^2 \left( \frac{\sqrt{I}}{1 + \sqrt{I}} - 0,11 \right) \quad (16)$$

where in  $K$  – concentration constant of dissociation of ionic couple;  $K^0$  – the corresponding thermodynamic constant;  $A$  – Debye-Huckel constant 0,5042 at 20°C;  $\Delta Z^2$  – the algebraic sum of squares of a charge of the particles (ion or associate) in the equation of dissociation constant;  $I$  – ionic strength of solution.

The calculated with equation (16) value of  $\text{pK}$  corresponds to [11, 21, 31, 99, 100].

Thermodynamic constants of dissociation are as follows [11, 38, 100]:

$$\begin{aligned} \text{pK}_{\text{CaCO}_3}^0 &= 3,2; & \text{pK}_{\text{CaHCO}_3}^0 &= 1,26; & \text{pK}_{\text{CaSO}_4}^0 &= 2,31. \\ \text{pK}_{\text{MgCO}_3}^0 &= 3,4; & \text{pK}_{\text{MgHCO}_3}^0 &= 1,16; & \text{pK}_{\text{MgSO}_4}^0 &= 2,36. \\ \text{pK}_{\text{NaCO}_3}^0 &= 1,27; & \text{pK}_{\text{NaSO}_4}^0 &= 0,72. \end{aligned}$$

The thermodynamic equilibrium constants were converted to the corresponding concentration constants using the activity coefficients ( $y$ ) of free ions and associates. The activity coefficients were determined by Davis equation [20, 98]:

$$-\lg y = Az^2 \left( \frac{\sqrt{\mu^*}}{1 + \sqrt{\mu^*}} - 0,2\mu^* \right) \quad (17)$$

where  $\mu^*$  is the effective ionic strength of the solution.

The formal ionic strength of soil solution was calculated on the data of analytical ion concentration. Equation (18):

$$I = 0,5[2^2(\text{Ca}^{2+}) + 2^2(\text{Mg}^{2+}) + (\text{Na}^+) + 2^2(\text{CO}_3^{2-}) + (\text{HCO}_3^-) + 2^2(\text{SO}_4^{2-}) + (\text{Cl}^-)], \text{mol / l} \quad (18)$$

The equilibrium concentrations of ion's free forms were designated as unknown values of the equations system. The analytical concentration of all ion forms was used as a total value of every chemical element. The system was obtained of six equations with six unknown.

The iteration was used to find out the value of the equilibrium concentrations of free ions. The equilibrium concentrations of ion pairs were determined according equations for dissociation constants (7-9).

The effective ionic force of solution was calculated taking according the values of equilibrium concentration of all ion forms. Equation (19):

$$I^* = 0,5 \left\{ 2^2 [\text{Ca}^{2+}] + 2^2 [\text{Mg}^{2+}] + [\text{Na}^+] + 2^2 [\text{CO}_3^{2-}] + [\text{HCO}_3^-] + 2^2 [\text{SO}_4^{2-}] + [\text{CaHCO}_3^+] + [\text{MgHCO}_3^+] + [\text{NaCO}_3^-] + [\text{NaSO}_4^-] + [\text{Cl}^-] \right\}, \text{mol / l} \quad (19)$$

As a result of the first step of iteration procedure were calculated the concentration constants of dissociation (16). The new system was obtained of equations of material balance. On the new set of the system ingredients made the next iteration of (10-15).

By the iteration sequence were calculated the ion forms in soil solution.

The coefficient of ion association  $\gamma_e$  proposed as a ratio of ion free form to its analytical content. Equation (20):

$$\gamma_e = C_{\text{ass}} / C_{\text{an}} \quad (20)$$

where,  $C_{\text{ass}}$  – calculated ion content in solution taking into account its association with another ions,  $C_{\text{an}}$  – analytical concentration of an ion.

The content of microelements in soil is many times less than contents of macro-ions, so there is no need to include the equation for Cd into the system of equations (10)-(15) for macro-ions – the quantity of microelement is insignificant as a contribution to total ionic force of soil solution. The obtained equilibrium concentrations of free anions  $[\text{CO}_3^{2-}]$ ,  $[\text{HCO}_3^-]$ ,  $[\text{SO}_4^{2-}]$ ,  $[\text{Cl}^-]$ , and  $[\text{OH}^-]$  can be used for the calculation of soluble microelements forms contents in water extracts from the mass balance equations [25]. The equation (21) is an example for  $\text{Cd}^{2+}$ :

$$\text{Cd}^{2+} = [\text{Cd}^{2+}] \{ 1 + [\text{CO}_3^{2-}](K(\text{CdCO}_3))^{-1} + [\text{HCO}_3^-](K(\text{CdHCO}_3))^{-1} + [\text{SO}_4^{2-}](K(\text{CdSO}_4))^{-1} + [\text{Cl}^-](K(\text{CdCl}))^{-1} + [\text{OH}^-](K(\text{CdOH}))^{-1} \}. \quad (21)$$

For calculation were used own software products [4, 23, 26].

### Result and discussion

The procedures specified by equations 7-21 are proposed to calculate the quantity of associated ions in the soil solution in different soil horizons at the given soil moisture and soil solution analytical composition.

The calculation results are published [24, 27, 29, 68-70, 72, 73] and show that the association of ions varies in individual layers of soil. The real equilibrium concentration of ion forms in soil solution depends on concentration and composition of soil solution. The higher salinity of the soil

solution, the more ions are associated. In the form of ionic pairs in saline horizons of soil are: 11-52%  $\text{Ca}^{2+}$ ; 22.2-54.6%  $\text{Mg}^{2+}$ ; 1.1-10.5%  $\text{Na}^{+}$ ; 3.7-23.8  $\text{HCO}_3^-$ ; 23.3-61.6%  $\text{SO}_4^{2-}$ , up to 85.7%  $\text{CO}_3^{2-}$ .

On the other hand, in the non-saline horizon 0-5 cm of the soil at the soil humidity of 22.4% the most of ions are in free form. This fact has good interpretation on example of water extract from chernozem soil [25]. In this case the quantity of bound to associates heavy metal  $\text{Cd}^{2+}$  is significant, influences the properties of the soil continuum, but is much less than in former mentioned case of saline horizon of soil.

A large amount of associated ions in the soil solution confirms the well-known similarity of soil and water systems of the biosphere. For the sea water system, water reservoirs with low salted water, groundwater the association of ions is known as an important factor in the carbonate system [55].

The principal difference of the soil from the water system is as follows:

- ✓ Continuum variety of properties of solid, liquid, gaseous phases of soil elements of the continuum as a drain or source of the material composition of the soil solution.

- ✓ Contact of the soil disperse continuum and disperse continuum of the soil water at the nanoscale.

- ✓ The inflow of water into the gravitational (preference downdrafts water flow respectively anisotropic properties of the soil continuum), capillary, vapor form.

- ✓ Selective drain of the soil solution within the continuum – the drain of the root system of plants, evaporation.

- ✓ Dynamics of the soil moisture and, accordingly, the dynamics of the soil solution concentration.

- ✓ Soil water steam flow.

- ✓ Transfer of the soil solution between the elements of the soil continuum according to gradient of the thermodynamic potential.

There is another aspect of the high mobility of ions in the soil solution linked to ions association.

The soil as a dispersed system is not simple crossing of the continuum of soil and water continuum. This simplified thermodynamic picture is useful only as a step of approximation. In fact these two continuums cross as a continuous only at high humidity of soil. Once the soil moisture content is decreasing, the soil solution is divided into the micro-basins within the soil continuum. Each of micro-basins is attached by capillary forces to the local film element(s) of soil structure. Micro-basin is stable in the space of the soil. When soil structure is disturbed during the passage of a growing root, resulting of soil swelling or any other causes, a separate micro-basin may move for some distance, but the overall picture of the distribution in the continuum soil micro-basins stable. From micro-basins there is water consumption for transfer and transpiration. In each micro-basin the process in soil solution goes in accordance to the laws of the spatial distribution of water. It's obvious that even at the small average soil water content there are local areas of soil continuum in which the soil solution has potentially movable ingredients. As soon as a stage of soil moisture comes, the micro-basins are linked, and their material migrates in accordance with the hydraulic flow lines, formed in the soil. The microbasins are an additional circumstance of the high intensity change of the soil material composition.

At the stage of soil formation it is favorable circumstance, ensuring the rapid evolution of soil to the quasi-stationary state of balance, or the same – reaching the stage of the genesis of which the soil corresponds to the regional conditions of soil formation. When the quasi-steady state is reached, then by the set of circumstances, the soil degradation is probable, loss of soil fertility, as a reflection of repeated cycles of wetting-drying which lead to the hydrolysis, destruction of the crystal lattice. The situation is complicated by excessive transport of material through the soil, as well as the aggressiveness of contained in a transferred soil solution material. Every micro-basin contains solution, which is sufficiently aggressive to mineral and organic phases of soil. It provides a process of soil transformation, even at relatively low humidity. In addition, it causes intensive migration of soil material, as in the initial phase of the soil wetting the micro-basins has the ready to migrate reserve of substances – the soil solution, which involves free and associated ions.

Due to ion association the mobility of dry steppe chestnut saline solonchic soil solution components is higher compared to previous estimates, especially for carbonates. In such circumstances the preference descending water fluxes in the soil are extremely dangerous because

lead to the loss of soil mineral phase to deep soil horizons and lateral redistribution of salts. There is a danger of excessive carbonates loss from soil which influences the mechanical structure of soil, the calcium-carbon source for soil organisms and plants. Moreover, the migration ability of organic matter and mineral nutrients, which closely linked to soil carbonates, can be assumed significantly higher than it was previously thought because the association of ions and in soil the formation of complexes of carbonates with organic and inorganic matter are universal process for various chemicals.

In experiments, the soil solution removed from upper slightly saline soil horizon has been in diluted state. But sufficiently high soil moisture in the experiment is not always common in situ. Просто использованная нами методика вытеснения позволяет получить из этого горизонта почвы только такой почвенный раствор. При низкой влажности почвы любая известная методика извлечения почвенного раствора неработоспособна. But only this technique of displacement can be applied to obtain the soil solution. At lower soil moisture any known technique of extraction of the soil solution is unusable.

On the contrary, for the soils of southern dry regions the low soil moisture is typical. At this moisture the concentration of soil solution in the upper low saline soil horizons can be high. This means that the material composition of the soil solution of the upper layer of soil may be significantly influenced by association of ions in the way as it has been shown experimentally and by mathematical modeling for deep layers of soil. The soil system of upper layer is possible to describe in the model only, because there is no way to remove the solution from dry soil.

The microelements at higher soil humidity are sufficiently bounded to ion pairs, this reduces their mobility [24, 25, 29].

Considering increase of soil solution concentration at low soil moisture, we have not touched upon the process of adsorption and precipitation of salts. The first process in soils of mainly mineral composition plays a subordinate role, the second stage occurs after the association becomes the subject of research. Obviously, at the used level of consideration, simplification of the processes in soil solution and the precipitation of the salts sorption evident even without direct accounting in model. Moreover, the procedure of the soil solution extraction alter the system "soil – salt – water" and affects its properties not less than assumptions, adopted in the model, as solution displacing is associated to significant impairment of the phenomena of dissolution and desorption. The destruction of the soil system distorts its properties, thus the method of mathematical simulation in the case discussed can be assumed as less distorting the regularities of the soil system.

The used simplified mathematical model system "soil – salt – water" allows the more wide range of possible states of pedosphere than it can be obtained in the model experiment. This basic feature of mathematical modeling is that the soil solution system is undisturbed.

The high mobility of the soil solution components is a prerequisite for the lateral redistribution of material within the soil continuum in the soil continuum at uneven moisture of soil areas. Is probable the depletion of the mineral composition of a donor soil and concentration in the acceptor soil. Both processes are unfavorable from the viewpoint of soil properties stability.

On the basis of calculations fulfilled it can be assumed that the low soil moisture to a certain limit is not an obstacle to the nutrient's transfer to the plant's roots. High soil moisture, which seeks, for example, at irrigation is not necessary from the point of view of plant nutrition. In this regard, we ought to note that in our experiments in the dry steppe chestnut soils without irrigation was obtained yields of winter barley 11.5 t/ha. This case reflects a large agronomic fortune. The soil moisture regime formed so that the humidity of plant's organogenesis in the spring-summer period from the conventional viewpoint has been relatively low, the soil moisture was not easy enough for plants. But it appears to be the best for transfer nutrition ions and their associates to the plant's roots. On the contrary, excessive soil humidity gives no advantage in plant nutrition. Although most of ions of soil solution time are in a free state, but at the same time the electrical conductivity of soil solution, which determines the intensity of the ion's flux in electric field to rhizosphere, is low. The ions are located far from each other and to extract them from soil the plant is forced to spend a lot of energy for transpiration, pumping large amounts of water. At the same time the negative role plays the diffusion of ions in solution. In conditions of high soil moisture diffusion rate is large, because the diffusion of ions essential nutrient can go opposite to the flow of the aqueous solution to the root hairs. The plant forces the rate of water flow, forms the excessive



transpiration. Water is a global deficit. The natural soil hydrology is difficult to control. But when the irrigation, from the viewpoint of soil solution's properties, to simulate natural alternation of high water content of the soil after precipitation and subsequent reduction of moisture during desiccation is wasteful in a view of discussed terms of excess water consumption. In addition, an excess of soil humidity results in flotation of soil units, their subsequent re-packaging and sealing in a phase of soil desiccation.

Association of ions promotes innovative solutions in the field of soil water regime, water saving, reduce the loss of nutrients, eliminate soil degradation. It is consistent in a view of the recent data on drawbacks of soil moisture sensors system, which correspond to the problem of true soil solution content determining [22]. The soil moisture in artificial soil system and at the irrigation is too high from the point of view of ions association and soil solution migration [29, 48, 50, 71, 83, 95].

The models proposed are applicable at  $I < 1.0$ . At this ionic strength of soil solution the models outlines the nature of the studied object on the qualitative and quantitative level. In saline soil it is possible to have the conditions of significantly greater ionic strength of the soil solution in which the need to involve other instruments to describe the structure of concentrated solution will appear [79, 90]. Exotic models of this kind are very original, and in special circumstances, for which they are designed, remain the exceptional way of research because are the only method to describe the process. But for all their originality, for the object of our studies those models are redundant.

Yes, for part of the micro-basins of soil solution, linked to the ultra-thin nanotubes (capillaries) at very low soil moisture and, accordingly, a high concentration of the soil solution of sodium chloride structure, the model  $n^*NaCl^0$  quite efficient in terms of correct representing of NaCl migration. But at high ionic strength, which takes place in this case, no possibility for plants the use the nutrients exists, and in consequence, the absence of plant's roots gives no prerequisites for the soil biota development, which life is possible or preferable only in rhizosphere. The soil hydraulic conductivity low, mass transfer process almost stopped.

So to describe the leading transport phenomena of matter in the soil are necessary and sufficient the thermodynamic models operating at  $I < 1.0$ .

The nature of CCE in soil is a cause why using an analytical concentration of ions only leads to the high calculated saturation degree of soil solutions with  $CaCO_3$ .

Accounting processes of ion association help to reduce the calculated supersaturation of soil solutions with  $CaCO_3$  in 10 ... 50 times. Roughly, the same effect on soil solution has its ionic strength. In a view of complexation of  $Ca^{2+}$  with soluble organic substance the degree of calculated soil solution saturation with  $CaCO_3$  reduces up to 1,5 ... 2,0 times [69].

The regularities of ion association process can help to explain the observed excess of ions concentration in the soil solution in comparison to ion thermodynamic solubility product.

The theoretical generalizations of thermodynamics of the soil solution and calculations give a new glance on the phenomena of ion association in water solution. Accounting association and activity of ions and calculating degree of soil solution saturation with chemicals provides the new understanding of migration and accumulation of chemical compounds in soils and landscapes concerning  $CaCO_3$ .

## Conclusion

Thus, the study of most important chemical equilibria and ionic structure of soil solution help to determine the formation and nature of chemical composition of saline soil. The approach proposed permits to consider the processes of migration and accumulation of salts, to predict the genesis, evolution and different methods of reclamation of soil and landscape systems.

The various experiment and mathematical modeling fulfilled show the calcium carbonate system in soil solution taking into account the ion association and without account of this phenomenon (). The association of ions helps to state that the thermodynamic preconditions of  $CaCO_3$  oversaturation in saline soils occur at much higher concentration of  $Ca^{2+}$  and  $CO_3^{2-}$  ions in soil solution than considered previously.

At high ionic force in soil solution are formed electrically neutral ion pairs  $CaCO_3^0$ ;  $CaSO_4^0$ ,  $MgCO_3^0$ ,  $MgSO_4^0$ , charged ion pairs  $CaHCO_3^+$ ,  $MgHCO_3^+$ ,  $NaCO_3^-$ ,  $NaSO_4^-$ ,  $CaOH^+$ ,  $MgOH^+$ .

Therefore, there is a significant probability of high mobility of  $CaCO_3$  in soil and landscape.

The completed research has significance not only from the point of view of theoretical foundation or accuracy of calculation procedures compliance to the details of natural phenomenon. The basic conclusion – the calculation suits the nature of the phenomenon of migration and accumulation of salts in soil. Thus, the association of ions in soil solution is important for knowledge of modern evolution of salted soils, use of the soils in a rain agriculture, irrigational agriculture, plant's nutrition.

The proposed scheme of soil solution system modeling is not highly instrumentally based, but nevertheless has more of high scientific and practical prospect than even compared up-to-date direct methods of soil solution research because the soil solution probing leads to the new state of soil solution after its extraction from the soil, this artificial system does not completely reflect the real soil solution system.

The shortcoming of research is the operation under the individual soil solutions from the layers of soil section. But soil continuum consists of series of vertical sections – one-dimension profiles. The layers of section and individual sections are interacting. The key problem of future research is not only to describe the state of soil solution system in individual part of soil volume at a particular moment of time but to explain the origin of metamorphisation of soil solution in time and through the soil continuum in accord to water-salt-mass transfer. On this foundation the prediction of soil evolution will be proper, soil management will be better and stable.

Next problem is modeling not only the soil solution macrosystem but taking into account disperse origin of the soil and soil solution. It is because the state of water in soil is not a continuous water amount crossed by solid soil phase continuum. It is a system of discreet insulated form one another micro-water-basins on the internal surfaces of soil. This approach gives the new understanding of water-salt transfer, geochemical barrier functions and ecological properties of soil.

The results of research are useable for plant nutrition, agriculture management of the soil, improving standard regional rain agriculture and irrigational agriculture.

The quantitative solving of soil solution thermodynamic model shows that mobility of matter, especially carbon, in terrestrial system is much higher than in was known before. On this reason the danger of carbon loss from the soil and biosphere is great. The task of carbon sequestration from biosphere by the way of transformation into deposits in aqueous or terrestrial system is false in conditions of transpiration reduction and shrinking of biosphere. The management of soil for growing plants needs to be focused on reducing soil moisture and reducing soil solution migration through the soil continuum and at the same moment increase the rate of biosphere production. It is necessary to ensure the delivery of nutrients directly to the roots of plants, in any case, delivery in closed compact zone of the soil continuum minimizing transit transport of substances through the soil.

Soil management can not be reduced to standard soil mechanical treatment in order to simulate natural weathering regime. Management of soil needs to be focused on preservation of the structure and composition of soil, reducing the destruction of the soil mechanical structure. Should be reduced an excessive soil mass transfer and migration of the soil solution within soil continuum to ensure the delivery of nutrients to the roots of plants without transport of these elements through the soil. On these principals the biogeosystem will lose some temporal and spatial uncertainty, become more stable and predictable. The heterogeneity in carbon and other material streams caused by landscape will be reduced. The excessive carbon and nutrients fluxes between terrestrial systems and to aquatic system will be excluded.

The idea of ions association in the soil solution helps to obtain a new glance on the processes in soil solution, soil and landscape, to consider quantitatively the equilibria model and its options for soil *in vivo*, undisturbed by procedures of physical modeling. The research fulfilled on example of dry steppe chestnut saline solonchic soil of Southern Russia shows dangerous for biosphere uncertainty of terrestrial carbon sink from soil to the great extend is linked to high mobility of carbon in form of carbonates in the soil solution. Concerning preferable water flows [47, 94], the soil geochemical barriers for carbonates are probably less stable than in was known before.

The association of ions in soil solutions is one of the geochemical drivers promoting transformation of solution, salt and heavy metal migration and accumulation in disperse system, soil genesis, excessive fluxes of carbon into soil, carbon sink from soil and biosphere to lithosphere and other geospheres [28, 49-52]. According to the mathematical model of thermodynamic state of soil solution the excessive carbon sink from the soil to other parts of biosphere and geospheres is of high probability. On the base of research fulfilled it is obvious that correction of phases and

stages of carbon in soil is a challenging task to stabilize the soil, landscape, climate of the Earth [32, 35, 49-52, 97, 114].

### References:

1. Adams, F. Ionic concentrations and activities in soil solutions. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 35: 421-426. DOI: 10.2136/sssaj1971.03615995003500030028x, 1971.
2. Ågren A. M., I. Buffam, D. M. Cooper, T. Tiwari, C. D. Evans, and H. Laudon. Can the heterogeneity in stream dissolved organic carbon be explained by contributing landscape elements? *Biogeosciences*, 11, Volume 11, Number 4, Pp. 1199–1213, 2014. [www.biogeosciences.net/11/1199/2014/](http://www.biogeosciences.net/11/1199/2014/) doi:10.5194/bg-11-1199-2014
3. Alekin O.A. Basics of hydrochemistry. L.: Gidrometeoizdat, 1970. 444 p. (in Russian)
4. Algorithm and a program for calculating the state of carbonate-calcium system in soil solutions and natural waters, taking into account the equilibrium concentrations of ions forms of macro / AG Andreev, Yu Lyashenko, MB Minkin, AP Endovitsky // Algorithms and programs: Ref. VNTI center. 1980. Vol. 4 (36). p. 36. (in Russian)
5. Amakor, X.N., A.R. Jacobson and G.E. Cardon, Improving estimates of soil salinity from saturation paste extracts in calcareous soils // *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 3: 792-799. DOI: 10.2136/sssaj2012.0235, 2013.
6. Anisimov V.S., Kochetkov I.V., Kruglov S.V., Aleksakhin R.M. EFFECT OF ORGANIC MATTER ON THE PARAMETERS OF THE SELECTIVE SORPTION OF COBALT AND ZINC BY SOILS AND THEIR CLAY FRACTIONS // *Eurasian Soil Science*. 2011. T. 44. № 6. C. 618-627. DOI: 10.1134/S1064229311060020
7. Aurela Shtiza, Rudy Swennen. Appropriate sampling strategy and analytical methodology to address contamination by industry. Part 2: Geochemistry and speciation analysis // *Open Geosciences*. Volume 3, Issue 1, Pages 53–70, ISSN (Online) 2391-5447, DOI: 10.2478/v10085-010-0033-4, March 2011
8. Bahn M., M. Reichstein, K. Guan, J. M. Moreno, and C. Williams Climate extremes and biogeochemical cycles in the terrestrial biosphere: impacts and feedbacks across scales // *Biogeosciences*, 12, 4827-4830, doi:10.5194/bg-12-4827-2015, 2015
9. Berger C., K. J. S. Meier, H. Kinkel, and K.-H. Baumann. Changes in calcification of coccoliths under stable atmospheric CO<sub>2</sub> // *Biogeosciences*, 11, Volume 11, Number 4, Pp. 929–944. [www.biogeosciences.net/11/929/2014/](http://www.biogeosciences.net/11/929/2014/) doi:10.5194/bg-11-929-2014
10. Besser-Rogac, M., A. Stoppa, J. Hunger, G. Hefter and R. Buchner. Association of ionic liquids in solution: a combined dielectric and conductivity study of [bmim][Cl] in water and in acetonitrile // *Phys. Chem. Chem. Phys.*, 13: 17588-1759. DOI: 10.1039/C1CP21371G, 2011.
11. Bjerrum J., Schwarzenbach G., Sillen L.G., Sykes K.W. Stability constants of metal-ion complexes with solubility products of inorganic substances. Part II. Inorganic ligands. London: The Chemical Society, 1958. 131 p. <http://library.wur.nl/WebQuery/clc/210262>
12. Bohn Hinrich. The Thermodynamics of Soil Solutions (page 538) // *Eos, Transactions American Geophysical Union*. Article first published online: 3 JUN 2011 | DOI: 10.1029/EO0631024p00538-04
13. Butler J.N., *Ionic Equilibrium: Solubility and pH Calculations*. John Wiley and Sons, Inc. 1998. ISBN: 978-0-471-58526-8 <http://eu.wiley.com/WileyCDA/WileyTitle/productCd-0471585262.html>
14. Cadmium in fertilisers. Risks from cadmium accumulation in agricultural soils due to the use of fertilisers containing cadmium Model estimations October 2000. [http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/chemicals/files/reports/denmark\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/chemicals/files/reports/denmark_en.pdf)
15. Caldararu S., D. W. Purves, and P. I. Palmer. Phenology as a strategy for carbon optimality: a global model // *Biogeosciences*, 11, Volume 11, Number 3, Pp. 763–778 [www.biogeosciences.net/11/763/2014/](http://www.biogeosciences.net/11/763/2014/) doi:10.5194/bg-11-763-2014
16. Carter, M.R. and E.G. Gregorich, *Soil Sampling and Methods of Analysis*, 2nd Edn., CRC Press, ISBN-10: 1420005278, pp: 1264. 2007.
17. Chialvo A. A., Cummings P. T., Cochran H. D., Simonson J. M., and Mesmer R. E. Na<sup>+</sup>-Cl<sup>-</sup> ion pair association in supercritical water // *J. Chem. Phys.*, Vol. 103, Issue 21, pp. 9125-9516, 1 December 1995. 9379 (1995); <http://dx.doi.org/10.1063/1.470707>

18. COMMISSION REGULATION (EU) 2015/1005 of 25 June 2015 amending Regulation (EC) No 1881/2006 as regards maximum levels of lead in certain foodstuffs (Text with EEA relevance) // Official Journal of the European Union L 161/9 26.6.2015. [http://www.iss.it/binary/lcdr2/cont/CR\\_2015\\_1005.pdf](http://www.iss.it/binary/lcdr2/cont/CR_2015_1005.pdf)
19. Contaminants and the Soil Environment in the Australasia-Pacific Region. Editors: R. Naidu, R.S. Kookana, D.P. Oliver, S. Rogers, M.J. McLaughlin. Kluwer Academic Publishers. 1996. [https://books.google.ru/books?id=YR\\_-CAAQBAJ&pg=PA165&lpg=PA165&dq=mpc+cd+in+soil&source=bl&ots=t51zRGzLEQ&sig=jIUZhdyzYSal8uMwW9eBtfdpadxk&hl=ru&sa=X&ved=0CE4Q6AEwB2oVChMI-OmdrZPlxwIVSP4sCh3D-gGx#v=onepage&q=mpc%20cd%20in%20soil&f=false](https://books.google.ru/books?id=YR_-CAAQBAJ&pg=PA165&lpg=PA165&dq=mpc+cd+in+soil&source=bl&ots=t51zRGzLEQ&sig=jIUZhdyzYSal8uMwW9eBtfdpadxk&hl=ru&sa=X&ved=0CE4Q6AEwB2oVChMI-OmdrZPlxwIVSP4sCh3D-gGx#v=onepage&q=mpc%20cd%20in%20soil&f=false)
20. Davies C.W. Ion Association. Butterworths: Washington, 1962. pp: 190. <http://www.sciencemag.org/content/143/3601/37>
21. Debye P. and Hückel E. The theory of electrolytes. I. Lowering of freezing point and related phenomena, *Physikalische Zeitschrift*, vol. 24, p. 185–206, 1923. Key: citeulike:9751523
22. El Marazky, M.S.A., F.S. Mohammad and H.M. Al-Ghobari Evaluation of soil moisture sensors under intelligent irrigation systems for economical crops in arid regions // *Am. J. Agri. Biol. Sci.*, 6: 287-300. DOI: 10.3844/ajabssp.2011.287.300, 2011.
23. Endovitsky A.P., Gavrilov A.A., Minkin M.B. Calculation of natural waters saturation by calcium carbonate taking into account association of ions and its influence on proton balance of carbonate system (PROTON) // *The Annotated list of new receipts in OFAP Goskomgidrometa. Obninsk, 1985. V. 3 . 11 p. (in Russian)*
24. Endovitsky A.P., Kalinichenko V.P., Il'in V.B., Ivanenko A.A. COEFFICIENTS OF ASSOCIATION AND ACTIVITY OF CADMIUM AND LEAD IONS IN SOIL SOLUTIONS // *Eurasian Soil Science. 2009. V. 42. Issue 2. P. 201-208. DOI 10.1134/S1064229309020112* <http://link.springer.com/article/10.1134%2FS1064229309020112#page-1>
25. Endovitsky A.P., Kalinichenko V.P., Minkina T.M., Mandzhieva S.S., Sushkova S.N. Lead Status in Chernozem of the Krasnodar Krai After the Application of Phosphogypsum // *Middle-East Journal of Scientific Research* 22 (7): 954-959, DOI: 10.5829/idosi.mejsr.2014.22.07.21980, 2014.
26. Endovitsky A.P., V.P. Kalinichenko, S.Y. Bakoyev, A.A. Ivanenko, V.A. Sukovatov and E.V. Radevich, Certificate of the state registration of computer program No 2009612162 «ION-2". Patentee Don State Agrarian University. 2009. (in Russian)
27. Endovitsky A.P. Minkin M.B. New method of calculation the equilibrium ionic composition of soil solutions // *Soil Science. 1979. No. 5. P. 103-108. (in Russian)*
28. Endovitsky Anatoly, Kalinichenko Valerie, Gromyko Evgenie, Mishchenko Nikolai, Ivanenko Anna, Zinchenko Alexander, Radevich Evgenie, Sukovatov Vladimir, Bakoev Serojdin S.j. Effect of soil phosphogypsum reclamation on the lead and cadmium forms in chernozem // *Proc. of the 4-th Internat. Congress «EUROSOIL 2012». 2 – 6 July 2012. Bari, Italy. P. 2347.*
29. Endovitsky AP Kalinichenko VP, Minkina TM State of lead and cadmium in chernozem after making phosphogypsum // *Soil Science, № 3, Pp. 340-350, DOI: 10.7868/S0032180X14030058 , 2014. (in Russian)*
30. Evans W., J. T. Mathis, and J. N. Cross. Calcium carbonate corrosivity in an Alaskan inland sea // *Biogeosciences*, 11, Volume 11, Number 2, Pp. 365–379, [www.biogeosciences.net/11/365/2014/](http://www.biogeosciences.net/11/365/2014/) doi:10.5194/bg-11-365-2014
31. Garrels R.M., Christ C.L. Solutions, Minerals and Equilibria. HARPER & ROW, NEW YORK, 1965.
32. Glazko Valery I., Tatiana T. Galzko Conflicts of Biosphere and Agroecosystems // *International Journal of Environmental Problems*, Vol. (1), Is. 1, pp. 4-16, DOI: 10.13187/ijep.2015.1.4, 2015. (in Russian)
33. GOST 25916 <http://vsegost.com/Catalog/39/39216.shtml> (in Russian)
34. GOST 30772 [http://www.yondi.ru/inner\\_c\\_article\\_id\\_1230.phtm](http://www.yondi.ru/inner_c_article_id_1230.phtm) (in Russian)
35. Gromyko EV Mishchenko NA Chernenko VV, Endovitsky AP, VB Il'in, Bakoev SY, Kalinichenko VP Statsko EV Serenko VV, Zinchenko AV Theoretical bases of management of material composition of the dispersed system of internal layers of soil // *The Journal of the Russian Research Institute of Land Reclamation. 2012. №1. Pp. 101-119. http://www.rosniipm-sm.ru/dl\_files/udb\_files/udb13-rec91-field6.pdf (in Russian)*

36. Guidelines for determination of heavy metals in farmland soils and crop production. NPO Typhoon, CINA0. 1992. <http://meganorm.ru/Index2/1/4293771/4293771886.htm> (in Russian)
37. Guidelines for the Safe Application of Biosolids to Land in New Zeland. NZWWA. 2003. <https://www.mfe.govt.nz/sites/default/files/laws/standards/contaminants-in-soil/submissions/submission-2-david-renouf.pdf>
38. Handbook of chemist 21. <http://chem21.info/info/715782/> (in Russian)
39. Heavy Metal Soil Contamination [http://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE\\_DOCUMENTS/nrcs142p2\\_053279.pdf](http://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_053279.pdf)
40. Heavy Metals in Soils. Trace Metals and Metalloids in Soils and their Bioavailability. Environmental Pollution. Editors: Brian J. Alloway. Volume 22 2013. ISBN: 978-94-007-4469-1 (Print) 978-94-007-4470-7
41. Hunenberger, P. and M. Relf, Single-Ion Salvation. In: Experimental and Theoretical Approachs to Elusive Thermodynamic Quantities. Jonathan Hirst. (Eds.), Royal Society of Chemistry. Thomas Graham House, Science Park, Milton Road, UK. Cambrige, ISBN: 978-1-84755-187-0, pp: 690. 2011.
42. Il'in V.B. Heavy Metals and No-Metals in the Soil-Plant System. Ed. A.I. Syso. Novosibirsk: Nauka, 2012. ISBN: 978-5-7692-1229-1 BBK: П032.34,07 П127.252,07 (in Russian)
43. Indicative permissible concentrations (IPC) of chemical substances in soil. health standards. ГИ 2.1.7.2042-06. [http://ohranatruda.ru/ot\\_biblio/normativ/data\\_normativ/46/46590/](http://ohranatruda.ru/ot_biblio/normativ/data_normativ/46/46590/) (in Russian)
44. Ishii M., R. A. Feely, K. B. Rodgers, G.-H. Park, R. Wanninkhof, D. Sasano, H. Sugimoto, C. E. Cosca, S. Nakaoka, M. Telszewski, Y. Nojiri, S. E. Mikaloff Fletcher, Y. Niwa, P. K. Patra, V. Valsala, H. Nakano, I. Lima, S. C. Doney, E. T. Buitenhuis, O. Aumont, J. P. Dunne, A. Lenton, and T. Takahashi. Air-sea CO<sub>2</sub> flux in the Pacific Ocean for the period 1990–2009 // Biogeosciences, 11, Volume 11, Number 3, Pp. 709–734, [www.biogeosciences.net/11/709/2014/](http://www.biogeosciences.net/11/709/2014/) doi:10.5194/bg-11-709-2014
45. Izgorodina, E.I., D. Golze, R. Maganti, V. Armel, M. Taige, T.J.S. Schubert and D.R. MacFarlane, 2014. Importance of dispersion forces for prediction of thermodynamic and transport properties of some common ionic liquids // Phys. Chem, Chem. Phys., Advance Article. DOI: 10.1039/C3CP53035C.
46. Johnston JC, Kastelowitz N, Molinero V. Liquid to quasicrystal transition in bilayer water // J Chem Phys. Oct 21;133(15):154516. doi: 10.1063/1.3499323. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20969412>, 2010
47. Kalinichenko V.P. O.G. Nazarenko, L.P. Ilna Features of the structural organization of the soil mass in waterlogged soil slopes chernozem zone // Reports of the Russian Academy of Agricultural Sciences, №5, pp. 22-24, 1997. (in Russian)
48. Kalinichenko V.P., Minkin M.B. Transformation of soil cover structure at irrigation // Soil Science. 1993. № 1. P. 70-76. (in Russian)
49. Kalinichenko Valery P., Viktor F. Starcev Recycling of Poultry Litter by Method of Biogeosystem Technique // International Journal of Environmental Problems, Vol. (1), Is. 1, pp. 17-48. DOI: 10.13187/ijep.2015.1.17, 2015. (in Russian)
50. Kalinichenko VP Endovitsky AP, Minkina TM, Skuratov NS, Il'in VB, Kim V.CH.-D. Management of geochemical processes in irrigated soils on the technology platform of the noosphere // Environmental Engineering. 2014. № 3. Pp. 12-18. (in Russian)
51. Kalinitchenko V.P., A.A. Batukaev, A.A. Zarmaev, T.M. Minkina, V.F. Starcev, Z.S. Dikaev, A.S. Magomadov, V.U. Jusupov. Biogeosystem technique as a contribution to global food sustainability, 248th ACS National Meeting & Exposition. 13TH IUPAC INTERNATIONAL CONGRESS OF PESTICIDE CHEMISTRY. Crop, Environment, and Public Health Protection. Technologies for a Changing World. Co-sponsored by IUPAC and ACS-AGRO. August 10-14, 2014. San Francisco, California, USA. Abstracts. AGRO 143. P. 37.
52. Kalinitchenko Valery, Abdulmalik Batukaev, Vladimir Zinchenko, Ali Zarmaev, Ali Magomadov, Vladimir Chernenko, Viktor Startsev, Serodjin Bakoev, and Zaurbek Dikaev. Biogeosystem technique as a method to overcome the Biological and Environmental Hazards of modern Agricultural, Irrigational and Technological Activities, Geophysical Research Abstracts. Vol. 16, EGU2014-17015, 2014. EGU General Assembly 2014. DOI: Vol. 16, EGU2014-17015, Vienna, 2014.

53. Kielbinski, D. Viewpoint: Ion Pair Simulates Hybrid Excitations // *Physics*, 6: 112. DOI: 10.1103/Physics.6.112, 2013.
54. Land contamination: soil guideline values (SGVs) <https://www.gov.uk/government/publications/land-contamination-soil-guideline-values-sgvs>
55. Levchenko V.M. Theoretical Foundations of physical and chemical research of natural waters // *Hydro-chemical Materials*, V. 35, pp. 75, 1966.
56. Lewis G.N. and M. Randell, The Activity coefficients of strong electrolytes // *Amirecan Chemical Society Journal*, 43(5): 1112-1154, 1921. DOI: 10.1021/ja01438a014
57. Li Yan, Ji-de Wang, Xiao-jun Wang, and Juan-fang Wang Adsorption–Desorption of Cd(II) and Pb(II) on Ca-Montmorillonite // *Ind. Eng. Chem. Res.*, 2012, 51 (18), pp 6520–6528. DOI: 10.1021/ie203063s
58. Lima I. D., P. J. Lam, and S. C. Doney. Dynamics of particulate organic carbon flux in a global ocean model // *Biogeosciences*, 11, Volume 11, Number 4, Pp. 1177–1198, [www.biogeosciences.net/11/1177/2014/](http://www.biogeosciences.net/11/1177/2014/) doi:10.5194/bg-11-1177-2014
59. Lisetsky F.N., Pavlyuk Y.V., Kirilenko Z.A., Pichura V.I. BASIN ORGANIZATION OF NATURE MANAGEMENT FOR SOLVING HYDROECOLOGICAL PROBLEMS // *Russian Meteorology and Hydrology*. 2014. T. 39. № 8. C. 550-557. DOI: 10.3103/S106837391408007X
60. Lisetsky F.N., Rodionova M.E. TRANSFORMATION OF DRY-STEPPE SOILS UNDER LONG-TERM AGROGENIC IMPACTS IN THE AREA OF ANCIENT OLBIA // *Eurasian Soil Science*. 2015. T. 48. № 4. pp. 347-358. DOI: 10.1134/S1064229315040055
61. Lui, M.Y., L. Crowhurst, J.P. Hallett, P.A. Hunt, H. Niedermeyer and T. Welton, Salts dissolved in salts: ionic liquid mixtures // *Chem. Sci.*, 2: 1491-1496. DOI: 10.1039/C1SC00227A, 2011.
62. Luo, Y., W. Jiang, H. Yu, A.D. MacKerell and B. Roux. Simulation study of ion pairing in concentrated aqueous salt solutions with a polarizable force field // *Faraday Discuss.*, 160: 135-149. DOI: 10.1039/C2FD20068F, 2013.
63. Lyashenko G.M., V.P. Kalinichenko. TECHNOGENIC POLLUTION OF SOILS BY LEAD IN CATENA OF HIGHWAY IN THE PRIAZOVSKY ZONE OF THE ROSTOV REGION // *Scientific Journal of Russian Reserch Institute of Problems of Melioration*, № 2(06), 2012. Pp. 60-74. [http://www.rosniipm-sm.ru/dl\\_files/udb\\_files/udb13-rec106-field6.pdf](http://www.rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec106-field6.pdf) (in Russian)
64. Maiti, A. and R.D. Rogers, A correlation-based predictor for pair-association in ionic liquids // *Phys Chem Chem Phys.*, 13: 12138-12145. DOI: 10.1039/C1CP21018A, 2011.
65. Mc Grath S.P. & Loveland P.J. (1992) *The Soil Geochemical Atlas of England and Wales*. Blackie Academic and Professional, Glasgow [https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/290266/sprp5-049-01-e-e.pdf](https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/290266/sprp5-049-01-e-e.pdf)
66. Melton J. R. and V. K. Arora. Sub-grid scale representation of vegetation in global land surface schemes: implications for estimation of the terrestrial carbon sink // *Biogeosciences*, 11, Volume 11, Number 4, Pp. 1021–1036, [www.biogeosciences.net/11/1021/2014/](http://www.biogeosciences.net/11/1021/2014/) doi:10.5194/bg-11-1021-2014
67. Mezbahuddin M., R. F. Grant, and T. Hirano. Modeling effects of seasonal variation in water table depth on net ecosystem CO<sub>2</sub> exchange of a tropical peatland // *Biogeosciences*, 11, Volume 11, Number 3, 577–599, [www.biogeosciences.net/11/577/2014/](http://www.biogeosciences.net/11/577/2014/) doi:10.5194/bg-11-577-2014
68. Minkin M.B., Endovitsky A.P. Levchenko V.M. Association of Ions in Soil Solutions // *Soil Science*. 1977. №2. pp. 49-58. (in Russian)
69. Minkin M.B., Kamynina L.M. Manikhina A.A. Endovitsky A.P. The influence of organic matter on calcium carbonate equilibrium in water extracts from solonchak solonetzic soils // *Proceedings. North-Caucasus Scientific Center of Higher School. Natural sciences*. 1979. No. 4. P. 90-94. (in Russian)
70. Minkin M.B., Endovitsky A.P., Kalinichenko V.P. Carbonate-calcium equilibrium in the soil solution. Moscow: Publishing House of the ICCA, 1995. 210 p.
71. Minkin M.B., Kalinichenko V.P. Intensification of melioration process on the soils of solonetz complexes by means of regulation of hydrological regime // *Soil Science*. 1981. N 11. P. 88-99. (in Russian)

72. Minkin M.B., Yendovitsky A.P. Conditions for the formation of the chemical composition of soil solutions // XIII Congress of the International Society of Soil Science (Hamburg, 13-20.8.1986). Hamburg, 1986. Vol. 11. P. 396-397.
73. Minkin M.B., Yendovitsky A.P., Andreyev A.G. Role of associate-ionic and protonic equilibria in the formation of the chemical composition of soil solutions // Advances in Soil Science. Soviet pedologists to the XIII-th International Congress of Soil Science. M.: Nauka, 1986. P. 34-40.
74. Minkina T.M., A.P. Endovitsky, V.P. Kalinichenko and Y.A. Fedorov Calcium carbonate equilibrium in the system water-soil, Rostov-on-Don: Southern Federal University, 2012. (in Russian)
75. Minkina, T.M., G.V. Motusova, S.S. Mandzhieva, O.G. Nazarenko, 2012. Ecological resistance of the soil-plant system to contamination by heavy metals // Journal of Geochemical Exploration, 123: 33-40. doi:10.1016/j.gexplo.2012.08.021 <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0375674212001677>
76. Minkina T.M., Mandzhieva S.S., Fedorov Y.A., Sushkova S.N., Burachevskaya M.V., Nevidomskaya D.G., Antonenko E.M., Kalinichenko V.P., Endovitsky A.P., Ilyin V.B., Chernenko V.V., Bakoev S.Y. Patent for invention RU №2521362 C2. Method of assessing the degree of degradation of technolandscape under chemical pollution. IPC Co1B (2006.01), E02B13/00, G01N33/24. Patent holder: Institute of Soil Fertility of South Russia. Registered in the State Register of Inventions of the Russian Federation, 30 April 2014 r. Posted on 27.06.2014. Bull. Number 18. Application number 2012101597 / 20 (002163) on 17.01.12. Publication date 27.07.2013. Bull Number 21. (in Russian)
77. Munir T. M., B. Xu, M. Perkins, and M. Strack. Responses of carbon dioxide flux and plant biomass to water table drawdown in a treed peatland in northern Alberta: a climate change perspective // Biogeosciences, 11, Volume 11, Number 3, 807–820, [www.biogeosciences.net/11/807/2014/](http://www.biogeosciences.net/11/807/2014/) doi:10.5194/bg-11-807-2014.
78. Nauer P. A. , E. Chiri, J. Zeyer, and M. H. Schroth. Technical Note: Disturbance of soil structure can lead to release of entrapped methane in glacier forefield soils // Biogeosciences, 11, Volume 11, Number 3, Pp. 613–620, [www.biogeosciences.net/11/613/2014/](http://www.biogeosciences.net/11/613/2014/) doi:10.5194/bg-11-613-2014.
79. Nicholson, D. and N. Quirke Ion pairing in confined electrolytes. Preliminary Communication // Molecular Simulation, 29: 287-290. DOI: 10.1080/0892702031000078427, 2003.
80. Obaid Faroon, Annette Ashizawa, Scott Wright, Pam Tucker, Kim Jenkins, Lisa Ingerman, and Catherine Rudisill. Toxicological Profile for Cadmium. Atlanta (GA): Agency for Toxic Substances and Disease Registry (US); 2012 Sep.
81. Okolelova AA, Zheltobryukhov VF, Kalinkina ED. Gross and mobile forms of heavy metals in soils of Volgograd // Ecology of the urbanized territories. 2013. № 4. C. 45-48. [http://www.volgau.com/Portals/o/static/izvestiya\\_auk/izvestiya\\_2014\\_36\\_4.pdf](http://www.volgau.com/Portals/o/static/izvestiya_auk/izvestiya_2014_36_4.pdf) (in Russian)
82. Orlov D.S. Soil Chemistry, Oxford & IBH Publishing Co. Pvt. Ltd, 390 p, 1992.
83. Panina S., EV Shein. Mathematical models MOISTURE IN SOIL: THE IMPORTANCE OF SECURITY AND EXPERIMENTAL upper boundary condition // Bulletin of Moscow University. Series 17: Soil. 2014. № 3. C. 45-50.
84. Peng Y., V. K. Arora, W. A. Kurz, R. A. Hember, B. J. Hawkins, J. C. Fyfe, and A. T. Werner. Climate and atmospheric drivers of historical terrestrial carbon uptake in the province of British Columbia, Canada // Biogeosciences. 11. Volume 11, Number 3, Page(s) 635-649. [www.biogeosciences.net/11/635/2014/](http://www.biogeosciences.net/11/635/2014/) doi:10.5194/bg-11-635-2014.
85. Pinsky D.L., Minkina T.M., Mandzhieva S.S., Fedorov Y.A., Bauer T.V., Nevidomskaya D.G. ADSORPTION FEATURES OF CU(II), PB(II), AND ZN(II) BY AN ORDINARY CHERNOZEM FROM NITRATE, CHLORIDE, ACETATE, AND SULFATE SOLUTIONS // Eurasian Soil Science. 2014. T. 47. № 1. C. 10-17. DOI: 10.1134/S1064229313110069
86. Plugatyr, A., R.A. Carvajal-Ortiz and I.M. Svishchev, Ion-Pair Association Constant for LiOH in Supercritical Water // J. Chem. Eng. Data, 56 (9): 3637-3642. DOI: 10.1021/je2004808, 2011.

87. Raiteri, P., R. Demichelis, J.D. Gale, M. Kellermeier, D. Gebauer, D. Quigley, L.B. Wright and T.R. Walsh, Exploring the influence of organic species on pre- and post-nucleation calcium carbonate // *Faraday Discussion*, 159: 61-85. DOI: 10.1039/C2FD20052J, 2012.
88. Regulatory Standards of Heavy Metal Pollutants in Soil and Groundwater in Taiwan [http://sgw.epa.gov.tw/resag/Update\\_Data/Information8839253Nov30\\_01Regulatory%20Standards%20of%20Heavy%20Metal%20Pollutants%20in%20Soil\\_20111116.pdf](http://sgw.epa.gov.tw/resag/Update_Data/Information8839253Nov30_01Regulatory%20Standards%20of%20Heavy%20Metal%20Pollutants%20in%20Soil_20111116.pdf)
89. Reichstein, M., Bahn, M., Ciais, P., Frank, D., Mahecha, M. D., Seneviratne, S. I., Zscheischler, J., Beer, C., Buchmann, N., Frank, D. C., Papale, D., Rammig, A., Smith, P., Thonicke, K., van der Velde, M., Vicca, S., Walz, A., and Wattenbach, M. Climate extremes and the carbon cycle // *Nature*, 500, 287–295, 2013.
90. Reznikov A.A. and V.A. Shaposhnik, Computer simulation of the formation of ion pairs in the electrolyte solution // *Bulletin of Voronez State University. Series: Chemistry. Biology. Farmatseya*. 2: 65-68, 2005.
91. Romanou A., J. Romanski, and W. W. Gregg. Natural ocean carbon cycle sensitivity to parameterizations of the recycling in a climate model // *Biogeosciences*, 11, Volume 11, Number 4, Pp. 1137–1154, [www.biogeosciences.net/11/1137/2014/](http://www.biogeosciences.net/11/1137/2014/) doi:10.5194/bg-11-1137-2014
92. Saito, C.H., 2013. Environmental education and biodiversity concern: beyond the ecological literacy // *American Journal of Agricultural and Biological Sciences*, 8 (1), 12-27. doi:10.3844/ajabssp.2013.12.27.
93. Seneviratne, S. I., Nicholls, N., Easterling, D., Goodess, C. M., Kanae, S., Kossin, J., Luo, Y., Marengo, J., McInnes, K., Rahimi, M., Reichstein, M., Sorteberg, A., Vera, C., and Zhang, X.: Changes in climate extremes and their impacts on the natural physical environment, edited by: Field, C. B., Barros, V., Stocker, T. F., Qin, D., Dokken, D. J., Ebi, K. L., Mastrandrea, M. D., Mach, K. J., Plattner, G.-K., Allen, S. K., Tignor, M., and Midgley, P. M.: *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation (IPCC SREX Report)*, 109–230, 2012
94. Shein E.V. PHYSICALLY BASED MATHEMATICAL MODELS IN SOIL SCIENCE: HISTORY, CURRENT STATE, PROBLEMS, AND OUTLOOK (ANALYTICAL REVIEW) // *Eurasian Soil Science*. 2015. T. 48. № 7. pp. 712-718. DOI: 10.1134/S1064229315070091
95. Shein E.V., Milanovsky E.Y., Khaidapova D.D., Nikolaeva E.I., Rusanov A.M. MATHEMATICAL MODELS OF SOME SOIL CHARACTERISTICS: SUBSTANTIATION, ANALYSIS, AND USING FEATURES OF MODEL PARAMETERS // *Eurasian Soil Science*. 2013. T. 46. № 5. C. 541-547. DOI: 10.1134/S1064229313050128
96. Smallman T. L., M. Williams, and J. B. Moncrieff. Can seasonal and interannual variation in landscape CO<sub>2</sub> fluxes be detected by atmospheric observations of CO<sub>2</sub> concentrations made at a tall tower? // *Biogeosciences*, 11, Volume 11, Number 3, Pp. 735–747, [www.biogeosciences.net/11/735/2014/](http://www.biogeosciences.net/11/735/2014/) doi:10.5194/bg-11-735-2014
97. Sobgayda Natal'ya A., Anzhelika B. Solodkova Recycling Spent Activated Sludge // *International Journal of Environmental Problems*. Vol. (1), Is. 1, pp. 64-74. DOI: 10.13187/ijep.2015.1.64, 2015. (in Russian)
98. Sparks D. L. Ion Activities: An Historical and Theoretical Overview // *Soil Science Society of America Journal*. 1984 48:514-518 doi:10.2136/sssaj1984.03615995004800030009x
99. Sposito Garrison. The Future of an Illusion: Ion Activities in Soil Solutions, *Soil Science Society of America Journal* 48: 531-536, 1984. doi:10.2136/sssaj1984.03615995004800030012x
100. Sposito G. 1989. *The Chemistry of Soils*. xiii + 277 pp. New York, Oxford: Oxford University Press. ISBN 0 19 504615 3.
101. Sposito, G. 2013. Green water and global food security. *Vadose Zone J.*12:doi:10.2136/vzj2013.02.0041.
102. Stoyanov, E.S., I.V. Stoyanova and C.A. Reed. The unique nature of H<sup>+</sup> in water, *Chem. Sci.* 2; 462-472. DOI: 10.1039/CoSC00415D, 2011.
103. Teichert S. and A. Freiwald. Polar coralline algal CaCO<sub>3</sub>-production rates correspond to intensity and duration of the solar radiation, *Biogeosciences*, 11, Volume 11, Number 3, Pp. 833–842, [www.biogeosciences.net/11/833/2014/](http://www.biogeosciences.net/11/833/2014/) doi:10.5194/bg-11-833-2014
104. Tertre, E., D. Pret, E. Ferrage. Influence of the ionic strength and solid/solution ratio on Ca(II)-for-Na<sup>+</sup> exchange on montmorillonite. Part 1: Chemical measurements, thermodynamic



modeling and potential implications for trace elements geochemistry, *Journal of Colloid and Interface Science*. 353: 248-256, doi:10.1016/j.jcis.2010.09.039, 2011.

105. Turi G., Z. Lachkar, and N. Gruber. Spatiotemporal variability and drivers of pCO<sub>2</sub> and air-sea CO<sub>2</sub> fluxes in the California Current System: an eddy-resolving modeling study, *Biogeosciences*, 11, Volume 11, Number 3, Pp. 671-690, www.biogeosciences.net/11/671/2014/doi:10.5194/bg-11-671-2014

106. US Environment Protection Agency. Risk-Based Screening Table – Generic Tables <http://www2.epa.gov/risk/risk-based-screening-table-generic-tables>

107. Visconti, F. and de Paz, J.M. Prediction of the soil saturated paste extract salinity from extractable ions, cation exchange capacity and anion exclusion, *Soil Res.* 50: 536-550. DOI: 10.1071/SR12197. 2012.

108. Wang Z., K. Van Oost, A. Lang, T. Quine, W. Clymans, R. Merckx, B. Notebaert, and G. Govers. The fate of buried organic carbon in colluvial soils: a long-term perspective, *Biogeosciences*, 11, Volume 11, Number 3, Pp. 873–883, www.biogeosciences.net/11/873/2014/doi:10.5194/bg-11-873-2014

109. Wang, T., J. Liu, H. Sun, L. Chen, J. Dong, L. Sun and Y. Bi. Exploring the mechanism of ion-pair recognition by new calix[4]pyrrole bis-phosphonate receptors: insights from quantum mechanics study. // *RSC. Adv.* 4: 1864-1873. DOI: 10.1039/C3RA44380A, 2014.

110. Westerlund, F., J. Elm, J. Lykkebo, N. Carlsson, E. Thyraug, B. Åkerman, T.J. Sorensen, K.V. Mikkelsen and B.W. Laursen. Direct probing of ion pair formation using a symmetric triangulenium dye, *Photochem. Photobiol Sci* 10: 1963-1973. DOI: 10.1039/C1PP05253E, 2011.

111. Wiatrak, P. Evaluation of nitrogen application methods and rates with nutrisphere-n on soil nitrate-nitrogen in southeastern coastal plains, *American Journal of Agricultural and Biological Sciences* 9 (1): 64-71, doi:10.3844/ajabssp.2014.64.71, 2014.

112. www.esdat.net Dutch Target and Intervention Values, 2000 (the New Dutch List) [http://www.esdat.net/Environmental%20Standards/Dutch/annexS\\_I2000Dutch%20Environmental%20Standards.pdf](http://www.esdat.net/Environmental%20Standards/Dutch/annexS_I2000Dutch%20Environmental%20Standards.pdf)

113. Xiong Tiantian, Thibault Leveque, Muhammad Shahid, Yann Foucault, Stéphane Mombo and Camille Dumat. Lead and Cadmium Phytoavailability and Human Bioaccessibility for Vegetables Exposed to Soil or Atmospheric Pollution by Process Ultrafine Particles. *Journal of Environmental Quality* 2014 43: 5: 1593-1600 doi:10.2134/jeq2013.11.0469

114. Yuan, X., E. F. Wood, and M. Liang, Integrating weather and climate prediction: towards seamless hydrologic forecasting, *Geophys. Res. Lett.* DOI: 10.1002/2014GL061076, 2014.

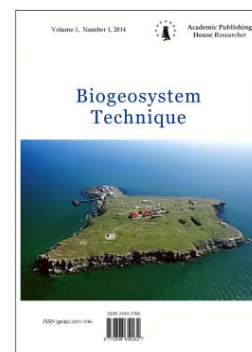
115. Zhang, L., J.E. Petersen, W. Zhang, Y. Chen, M. Cabrera, Q. Huang, Interactions of <sup>14</sup>C-labeled multi-walled carbon nanotubes with soil minerals in water, *Environmental Pollution*, 166: 75-81, doi:10.1016/j.envpol.2012.03.008, 2012.

116. СанПиН 2.1.4.1074-01 <http://ross-water.com/files/sanpin/file-2.pdf?1242648352> (in Russian)

Copyright © 2015 by Academic Publishing House *Researcher*

Published in the Russian Federation  
Biogeosystem Technique  
Has been issued since 2014.  
ISSN: 2409-3386  
E-ISSN: 2413-7316  
Vol. 5, Is. 3, pp. 286-297, 2015

DOI: 10.13187/bgt.2015.5.286  
[www.ejournal19.com](http://www.ejournal19.com)



UDC 631.41

### Chitosan as a Detoxicant for Oil Contaminated Soils and Its Transformations

<sup>1</sup>N.G. Kasterina

<sup>2</sup>A.A. Okolelova

<sup>1</sup>Volzhsky Polytechnical Institute (branch) Volgograd State Technical University, Russian Federation  
Department of Chemical Technology of Polymers and Industrial Ecology  
E-mail: kokorinang@yandex.ru

<sup>2</sup>Volgograd state technical university, Russian Federation  
Department of Industrial Ecology and Safety  
Lenin Av., 28, Volgograd, 400005  
Dr. of Biol. Sciences, Professor  
E-mail: allaokol@mail.ru

#### Abstract

The problems of oil contaminated soils remediation are relevant due to the rapid development of the oil and gas industry. The common and most effective method of soils detoxification is sorption. We first studied a possibility of applying natural biopolymer chitosan for soils detoxification. In the scientific literature there is evidence of its use only for treatment of surface and wastewaters.

Chitosan is a natural biopolymer degrading to its typical components (glucosamine, N-acetylglucosamine) under action of ferments; it has a high sorption activity towards heavy metals. The sorbent is made of shellfish chitin. Economic efficiency of using chitosan is conditioned by the presence of a local feedstock: wastes generated during cleaning turbines of Volzhsky Hydroelectric Power Station. Utilization of chitin containing wastes solves the environmental problem, decreases the sorbent price.

High sorption efficiency of finely milled chitosan in light-chestnut clay soils is conditioned by the following: pores in the finely milled chitosan are one order less than in the soil, which allows the chitosan for mechanical holding down pollutants; the surface tension of the sorbent is less than in the clay structure; chemisorption of oil products from soils with chitosan occurs at the expense of solvation effects coming up through the formation of macromolecular complexes. High sorption efficiency of oil products with chitosan solution in light-chestnut sandy soils is caused by the next reasons: more reactive functional groups in the chitosan solution; the solid sorbent being in contact with the contaminated sand forms a lower contact surface than the solution which envelops each contaminated sand particle increasing the contact surface. Chitosan solution forms a film on the surface of the soil, which, if necessary, can be easily removed by mechanical means, or wakes utilized by soil microorganisms after 2-3 months.

In order to prevent oil spills and their subsequent migration in the soil during the construction of petrol stations, we offer to create a sorption barrier. The barrier is a consecutive alternation of layers of large quartz sand (capacity up to 5 cm), chitosan (1 cm), river sand (5 cm), chitosan (1 cm), fine sand (5 cm), and chitosan. During the construction of small oil storage

facilities, it is worthwhile to use an additional barrier formed of 2-3 consecutively alternating layers of fine sand and chitosan (all sorption barriers are placed beneath the foundation for temporary oil storage tanks). Layers 7, 9, 11 represent fine sand with the particle diameter equal to 0,5-1,0 mm (to 5 cm), 8, 10, 12 - finely milled chitosan (to 1 cm), and 13 – an insulating material.

Almost complete sorption of oil products out of the light-chestnut clay soil with finely milled chitosan and out of the light-chestnut sandy soil with 0,1% chitosan solution was shown; in both cases it is equal to 99,96%. The effectiveness of 2 days oil sorption with finely milled chitosan is about twice as high in the clay soil as compared to the sandy soil. For more complete oil extraction is 2-4 days. Optimal oil sorption is achieved at 0,1% concentration of chitosan solution compared to 0,05% concentration. To eliminate and prevent accidental oil spills on the light-chestnut clay soil, we propose to equidistribute the finely milled sorbent on the soil surface; for the light-chestnut sandy soil, it is more efficient to use for this purpose 0,1% chitosan solution.

**Keywords:** oil products, a natural sorbent, a sorption mechanism, a sorption barrier.

### Введение

Разливы нефтепродуктов вызывают сильные и во многом необратимые повреждения природных комплексов, изменения морфологических, физических и химических свойств. В органогенных почвенных горизонтах происходит аккумуляция высокомолекулярных компонентов нефтепродуктов. Наиболее подвижные легкие фракции могут проникать на глубину от 10-20 до 120 см и более в зависимости от гранулометрического состава почвы. Значительная их часть разлагается и испаряется в течение года. Самым распространенным и наиболее эффективным методом быстрого сбора нефтепродуктов является их сорбция. В мире на данный момент насчитывают около двухсот видов различных сорбентов. Нами впервые изучена возможность применения для детоксикации почв природного биополимера хитозана. В научной литературе имеются данные об его применении только для очистки поверхностных и сточных вод от нефти и нефтепродуктов [1-14].

Вопросы ремедиации нефтезагрязненных почв, и, особенно, предупреждения их токсикации, в настоящее время актуальны в связи с бурным развитием нефтегазодобывающей промышленности и инфраструктуры [15-17].

Хитозан – природный биополимер, нетоксичен, биодеградирует под действием ферментов до обычных его компонентов организма (глюкозамин, N-ацетилглюкозамин), нетоксичен [5, 9, 11, 12, 18, 19, 20, 21-25, 26]. Обладает высокой сорбционной способностью к переходным и, токсичным тяжелым металлам (Cu, Zn, Ni, Co, Mo, V, Ti, Sb, Pb, St, Cd, Hg) [2, 16, 18, 27, 28]. Обнаружено отсутствие выраженной субстратной специфичности хитозана, что означает примерно одинаковую его способность связывать как гидрофильные, так и гидрофобные соединения. У хитозана были выявлены ионообменные, хелатообразующие и комплексообразующие свойства [5, 24-25, 29, 30, 31, 32]. Изучаемый сорбент готовят из хитина панцирей ракообразных [25, 29, 30, 31]. Хитозан получают из декальцинированного хитина ракообразных при удалении ацетильной группы в жестких условиях раствором щелочи [1, 2, 16, 18, 21, 27, 33].

Экономичность использования хитозана обусловлена наличием местной сырьевой базы: отходов, получаемых при очистке турбин Волжской ГЭС. Утилизация хитинсодержащих отходов решает вопрос охраны окружающей среды, снижает стоимость сорбента [16]. Его физико-химические показатели представлены в табл. 1, из анализа которой видно, что полученный авторами хитозан соответствует техническим требованиям, предъявляемым к сорбенту для его использования в пищевой промышленности [34]. Для достижения заданной молекулярной массы, равной 1200 кДа, за основу была принята технология С.И. Шиша и Г.В. Винокурова, защищенная патентом [35].

Таблица 1

**Физико-химические свойства полученного авторами мелкоизмельченного хитозана из речного рака**

Наименование показателя	Норма по ТУ, не более	Результаты испытаний
Молекулярная масса, кДа	-	120,000
Степень деацетилирования, %	-	87,000
Массовая доля влаги, %	10,000	9,400
Массовая доля минеральных веществ, %	0,700	0,330
pH 1 % раствора хитозана в 2 % уксусной кислоте	7,500	3,850
Массовая доля нерастворимых веществ в 3 % растворе уксусной кислоты, %	0,200	0,180

Хитозан растворяется только в органических кислотах, даже в разбавленных, в водном растворе уксусной, лимонной, янтарной кислот. При набухании он способен прочно удерживать в своей структуре органические кислоты, а так же растворенные в них взвешенные вещества [36]. Для этих растворов характерна существенная зависимость вязкости от концентрации уксусной кислоты [27, 37].

Его высокая сорбционная способность вызвана не только физико-химическими свойствами, но и развитой поверхностной структурой (микропорами и микротрещинами). Это позволяет предположить возможность физического поглощения НП и допустить возможность одновременно протекающих двух видов сорбции – химической и физической.

Хитозан способен образовывать большое количество водородных связей, может связать органические водорастворимые вещества (бактериальные токсины и токсины, образующиеся в процессе пищеварения), а также предельные углеводороды, жиры и жирорастворимые соединения за счет гидрофобных взаимодействий и сетчатой структуры [36, 38, 39-40].

Хитозан обладает высокой биологической стойкостью, хороший флокулянт, эмульгатор, загуститель [28,38]. Он образует прочные соединения с белками, анионными полисахаридами, образует хелатные комплексы с металлами [5, 23-25, 29, 30, 31, 32]. Хитозан можно считать универсальным сорбентом, способным связывать огромный спектр поллютантов органической и неорганической природы.

### **Объекты и методы**

Объектами исследования послужили светло-каштановые глинистые и песчаные почвы АЗС № 1 и 3 г. Волжского. Отбор проб, подготовку почв к анализу проводили по ГОСТу 17.4.4.02-84. Содержание углерода в почве определяли на «Флюорате 02-3М ЛЮМЭКС» в соответствии с ПНД Ф 14.1: 2.5-95. РД 52.2 4.476-95. Погрешность оборудования на исследование  $\Delta \pm 0,03$ . Структуру хитозана исследовали с помощью ИКС-Фурье на спектрофотометре BRUKER с программным обеспечением OPUS и микроскопом Altami Polar 312. Исследована сорбция нефтепродуктов из почвы и песка хитозаном. Навеску и аликвоту сорбента подбирали так, чтобы во всех вариантах было одинаковое его количество[16]. Опыт вели с добавлением мелко измельченного хитозана, 0,1 % и 0,05 % растворов хитозана. Определяли глубину проникновения нефтепродуктов и раствора хитозана в почву в полевом и модельном опытах. Для получения накопительной культуры использовали посев на минеральную питательную среду, содержащую парафин и нефтепродукты.

### **Обсуждение результатов**

Эффективность сорбции нефтепродуктов проверяли в лабораторных условиях. Для постановки модельного опыта брали навеску почвы массой 50 г. В одном варианте в колбу помещали 0,1 г мелкоизмельченного хитозана, в другом – 0,1 % раствор сорбента в уксусной кислоте. В песчаной почве дополнительно проводили сорбцию 0,05 % раствором хитозана. Выбор уксусной кислоты в качестве растворителя обусловлен её химическими

свойствами. В отличие от других органических кислот, процесс растворения хитозана в ней происходит вдвое интенсивнее [6, 16, 33, 41-42]. Для чистоты опыта массу мелко измельченного хитозана подбирали таким образом, чтобы концентрация углерода в обоих вариантах была одинакова [16]. Полученные данные представлены в таблице 2.

Таблица 2

**Показатели эффективности сорбции хитозаном нефтепродуктов  
из светло-каштановых почв**

Агрегатное состояние хитозана	Сорбированный хитозаном углерод, %	
	Время экспозиции	
	2 суток	4 суток
Глинистая почва		
Твердый	94,37	99,96
0,1 % раствор	90,18	96,02
Песчаная почва		
Твердый	46,22	77,85
0,1 % раствор	99,60	99,96
0,05 % раствор	12,84	70,91

### Результаты исследования

Сорбция нефтепродуктов из светло-каштановой глинистой почвы выявила наибольшую эффективность при использовании мелко измельченного хитозана не зависимо от срока экспозиции. В обоих вариантах опыта (твердый и жидкий хитозан) сорбция возрастает на четвертые сутки экспозиции, соответственно с 94,37 до 99,96 % и с 90,18 до 96,02.

Эффективность сорбции нефтепродуктов из светло-каштановой песчаной почвы 0,1 % раствором хитозана выше, чем при его разбавлении до 0,05 %. При экспозиции в течение двух суток сорбция составляет соответственно 99,60 и 12,84 %, в течение четырех суток – 99,96 и 70,91 %. Разбавленный раствор сорбирует больше нефтепродуктов при увеличении срока контакта с загрязненной почвой. Сорбция разбавленным раствором хитозана эффективнее в течение четырех суток и возрастает соответственно с 12,84 до 70,91 %, а поглощение нефтепродуктов 0,1 % раствором – с 99,60 до 99,96 % (табл. 2).

Действенность двухсуточной сорбции нефтепродуктов мелко измельченным хитозаном примерно вдвое выше в глинистой почве по сравнению с песчаной и составляет, соответственно, 94,37 и 46,22 %. В песчаной почве доля сорбируемых нефтепродуктов в зависимости от срока экспозиции изменяется еще больше – с 46,22 до 77,85 %

Сорбционная способность хитозана обусловлена наличием в его макромолекуле свободных аминогрупп, с помощью которых образуются надмолекулярные комплексы соединений с органическими соединениями [2, 4, 18, 24, 28, 33, 34, 45]. В ходе исследования структуры хитозана с помощью поляризационного микроскопа «Altami Polar 312» было выявлено наличие в нем микропор. Это позволяет предположить возможность физического поглощения нефтепродуктов и допустить вероятность одновременного протекания двух видов сорбции: химической и физической.

Из анализа представленного материала (табл. 2) видно, что эффективная сорбция нефтепродуктов в глинистой почве происходит с применением мелко измельченного хитозана, особенно на четвертые сутки. В светло-каштановой песчаной почве обратная зависимость – раствор хитозана практически вдвое эффективней, чем мелкоизмельченный сорбент при экспозиции в течение двух суток и в полтора раза – в течение четырех суток. Разбавление раствора хитозана снижает продуктивность сорбции почти в 8 раз при экспозиции, равной двум суткам, и в 1,4 раза – при экспозиции в течение четырех суток.

Согласно проведенным нами полевым опытам длительность ферментной деструкции самого сорбента в светло-каштановых почвах составляет от 4 (глинистая) до 6 месяцев (песчаная). После сорбции нефтепродуктов деструкция хитозана в почве, независимо от ее гранулометрического состава происходит за 8 месяцев.

Представляет интерес рассмотреть механизм более эффективной сорбции в глинистой почве мелко измельченным сорбентом, в песчаной – раствором хитозана.

Известно, что агрегаты удерживаются в сцепленном виде в результате коагуляции коллоидов, склеивания, слипания, под действием сил Ван-дер-Ваальса, остаточных валентностей и водородных связей, адсорбционных и капиллярных явлений в жидкой фазе, корневыми тяжами, гифами грибов и слизи микроорганизмов [10, 16, 43, 45]. В почвах тяжелого гранулометрического состава процессы склеивания и слипания с твердым сорбентом наиболее вероятны, преобладание почвенной биоты усиливает возможность взаимодействия [44].

Участие первичных минералов в формировании минерального состава почв зависит от их гранулометрического состава, в песчаных почвах их доля составляет 90-98 % от мелкозема песков, в суглинистых – 50-80, в глинистых почвах – 10-12 [10, 16, 43-44]. Первичные минералы почти целиком сосредоточены в гранулометрических фракциях размером более 0,001 мм. Можно предположить, что почвы легкого гранулометрического состава имеют меньше потенциальных возможностей контакта с твердым сорбентом.

Глинистые минералы обладают общими свойствами: слоистое кристаллическое строение, высокие дисперсность и поглотительная способность, в первую очередь у минералов группы монтмориллонита [44]. У них высокая поглотительная способность. Это также является одной из причин более эффективной сорбции нефтепродуктов с помощью измельченного хитозана [16, 44, 45].

Изучая типы межчастичных контактов в почве Е. В. Шеин выделил три: коагуляционный (образованы поверхностными силами межмолекулярного взаимодействия), кристаллизационный (частички окружены пленкой воды, с заметной площадью контакта между частицами) и смешанный [44].

Е. В. Шеин, рассматривая потоки влаги в почвах, объясняет механизм формирования гидрофобной пленки на отдельных частичках в песчаных почвах, особенно при чередовании слоев различного гранулометрического состава [44]. Нефтепродукты, аналогично могут образовывать пленку на песчинках.

Высокая сорбционная способность мелко измельченного хитозана на светло-каштановых глинистых почвах обусловлена следующим:

- поры в мелко измельченном хитозане на порядок меньше, чем в почве, что позволяет ему механически удерживать поллютанты;
- за счет меньшего поверхностного натяжения у сорбента, чем в глинистой структуре;
- хемосорбция хитозаном нефтепродуктов из почв происходит за счет сольватационного эффекта посредством образования макромолекулярных комплексов [16, 17, 45].

Большая эффективность сорбции нефтепродуктов раствором хитозана в светло-каштановых песчаных почвах вызвана следующими причинами:

- большей реакционной способностью функциональных групп в растворе хитозана [4, 16, 17, 33, 45];
- твердый сорбент при контакте с загрязненным песком образует меньшую поверхность контакта, чем раствор, который обволакивает каждую загрязненную частицу песка, увеличивая поверхность контакта.

В ходе модельного опыта нами выявлено, что раствор хитозана образует пленку на поверхности почвы, которую при необходимости легко механически удалить. При нагреве пленки до 40 °С сорбированные нефтепродукты остаются в связанном состоянии. С другой стороны, удалять пленку не обязательно, так почвенная микрофлора в течение 2-3 месяцев разлагает природный биосорбент. Это позволяет его использовать для предупреждения загрязнения почв нефтепродуктами [16, 45];

Для ликвидации и предупреждения аварийного разлива нефтепродуктов на светло-каштановой глинистой почве предлагаем равномерно распределять мелко измельченный сорбент по ее поверхности, в светло-каштановых песчаных почвах для этих целей эффективнее использование 0,1 % раствора хитозана.

Для предупреждения разливов нефтепродуктов и их последующей миграции в почве при строительстве АЗС предлагаем создавать сорбционный барьер, схема которого показана на рисунке. Он и представляет собой последовательное чередование слоев: крупного

кварцевого песка (мощностью до 5 см), хитозана (до 1 см), песка речного (до 5 см), хитозана (до 1 см), мелкого песка (до 5 см), хитозана.



Рис. 1. Схема основного сорбционного барьера  
1 – кварцевый песок, 2, 4, 6 – хитозан, 3 – песок речной, 5 – мелкий песок

Основные показатели расхода сорбента для предупреждения токсикации почв показаны в табл. 3.

Таблица 3

## Показатели расхода сорбента

Сырье	Диаметр зерен ( $d_n$ ), см	Плотность насыпная, $\rho_n, \frac{г}{см^3}$	Площадь загрязнения на АЗС, S, м <sup>2</sup>	Масса сорбента, кг, необходимая на данную площадь с учетом мощности слоя, см	
				0,3	0,5
Рак	0,1 - 0,2	0,572	15-20	13,05-17,40	21,75-29,00
	0,2 - 0,4	0,371	15-20	8,55-11,40	14,25-19,00
	0,5 - 1,0	0,385	15-20	9,45-12,60	15,75-21,00
	1,0 - 2,0	0,413	15-20	10,80-14,40	18,00-24,00
Креветка	0,1 - 0,2	0,1282	15-20	4,35-5,80	7,20-9,60
	0,2 - 0,4	0,0655	15-20	2,25-3,00	3,75-5,00
	0,5 - 1,0	0,0797	15-20	1,80-2,40	3,15-4,20
	1,0 - 2,0	0,0940	15-20	2,61-3,48	4,35-5,80

Примечание: плотность насыпная – объем, занимаемый 1 г сорбента.

При строительстве небольших нефтебаз наиболее оправдано применение основного и дополнительного барьера. Дополнительный барьер создают из последовательно чередующихся двух – трех слоев мелкого песка и хитозана.

Дополнительный барьер располагается ниже после основного сорбционного барьера [16, 45];

Все сорбционные барьеры гидроизолируются и укладывают в низу под фундаментом для баков временного хранения нефтепродуктов, рис. 2.

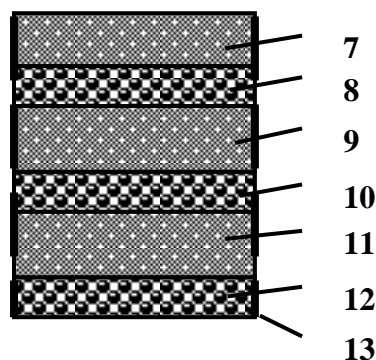


Рис. 2. Схема дополнительного сорбционного барьера

Примечание: 7, 9, 11 – мелкий песок  $d_{\text{ч}}=0,5-1,0$  мм (до 5 см),  
8, 10, 12 – хитозан мелко измельченный (до 1 см), 13 – изоляционный материал (полиэтилен или любой гидроизоляционный материал)

### Заключение

1. Показана почти полная сорбция нефтепродуктов из светло-каштановой глинистой почвы мелкоизмельченным хитозаном, из светло-каштановой песчаной почвы – 0,1 % раствором хитозана, в обоих случаях равная 99,96 %.

2. Эффективность двухсуточной сорбции нефтепродуктов мелкоизмельченным хитозаном примерно вдвое выше в глинистой почве по сравнению с песчаной. В глинистой почве основная часть нефтепродуктов сорбируется в течение первых и вторых суток, в песчаной почве такой зависимости не выявлено.

3. Для наиболее полного извлечения нефтепродуктов из почвы достаточное время экспозиции составляет 2-4 суток.

4. Оптимальная сорбция нефтепродуктов достигается при концентрации 0,1 % раствором хитозана по сравнению с 0,05 %.

5. Для ликвидации разливов нефтепродуктов в светло-каштановой глинистой почве применять мелкоизмельченный хитозан, 0,1 % раствор хитозана – в светло-каштановой песчаной почве. Для предупреждения разливов нефтепродуктов и их последующей миграции в почве при строительстве АЗС предлагаем создавать сорбционный барьер.

### Примечания:

1. Аренс В.Ж., Гридин О.М. Эффективные сорбенты для ликвидации нефтяных разливов // Экология и промышленность России. 1997. № 3. С. 8-11.

2. Гальбрайт Л.С. Хитин и хитозан: строение, свойства, применение // Соровский образовательный журнал. 2001. Т. 7. № 1. С. 51-56.

3. Клочкова И.И. Исследование влияния хитозана на сорбционные свойства текстильных материалов из природных волокон / И.И. Клочкова, В.В. Сафонов, В.А. Волков // Всерос. семинар «Термодинамика поверхностных явлений и адсорбции». Плес. 2006. С. 13-14.

4. Марьин А.П., Феофилова Е.П. Высокомолекулярные соединения. М.: Наука, 1982. Сер. Б. Т. 24. № 9. С. 658-662.

5. Немцов С.В. Научное обоснование комплексной технологии хитина, хитозана из панциря промысловых ракообразных и продуктов их оснований / С.В. Немцов // Автореферат на соискание ученой степени доктора технических наук. М: ВНИРО, 2006. 55 с.

6. Уткина Е.Е. и [др.]. Использование биополимеров в качестве сорбентов в решении проблем загрязнения воды / Е.Е. Уткина, В.Ф. Каблов // Высокие технологии – стратегия XXI века Матер.конф., Москва / Рос. фонд развития высоких технологий [и др.]. М.: Наука, 2009. С. 383-385.

7. Фомин В.А. Биоразлагаемые полимеры, состояние и перспективы использования / В. А. Фомин, В. В. Гузеев // Пластические массы. 2001. № 2. С. 42-48.

8. Чернышенко А.О. Твердотельный синтез хитозана и получение материалов на его



основе: Автореф. дисс. к.х.н. М., 2007. 16 с.

9. Khismatoullin R.G., Nemtsev S.V., Zueva O.U. and Varlamov V.P. // Bees as a Potential Sources of Chitosan and Melanin // Bees for New Asia. Proceedings of the Seventh Asian Apicultural Association Conference and Tenth BEENET Symposium and Technofora. University of the Philippines Los Banos.Ed. by Edwin N. Camaya&Cleofas R. Cervancia, 2004. P. 359-360.
10. Kulikov S.N., Alimova F.K., Zakharova N.G., Nemtsev S.V. and Varlamov V.P. // Biological Preparations with Different Mechanisms of Action for Protecting Potato against Fungal Diseases // Applied Biochemistry and Microbiology, 2006, vol. 42, №. 1. P. 77-83.
11. Muzzarelli R. A. Chitin in nature and technology. New-York, 1986. 300 s.
12. Shahidi F., Synowiecki J. «Isolation and characterization of nutrients and value-added products from snow crab (*Chionoecetes opilio*) and shrimp (*Pandalus borealis*) processing discards». Journal of Agricultural and Food Chemistry. 1991, № 39, P. 1527-1532.
13. Schorigin P.P., Heit E.W., Uber die Methylether des Chitins // Berichte, 1935, V. 68. P. 971-973.
14. Varlamov V.P., Ilyina A.V., Bannikova G.E., Lopatin S.A., Nemtsev S.V., Yusupova D.V., Melent'ev A.I., Sukhanova P.P., Vichoreva G.A // Enzymatic depolymerization of chitosan and sulfated chitosan. // Chitin Enzymology 2001 R. A. A. Muzzarelli, ed. Atec, Italy, 2001, P. 423-429.
15. Буланова А.В., Грецкова И.В., Муратова О.В. Исследование сорбционных свойств сорбентов, применяемых для очистки почв от нефтяных загрязнений // Вестник СамГУ. Естественно-научная серия. 2005. № 3. (37). С. 150-158.
16. Кокорина Н.Г. Детоксикация хитозаном нефтезагрязненных почв Волгоградской агломерации. Автореферат канд. биол. н. Р-н/Д. 2012. 24 с.
17. Околелова А.А., Егорова Г.С. Фонд почвенно-генетического разнообразия Волгоградской области. Волгоград. ИПК «Нива». 2008. 104 с.
18. Горовой Л.Ф. и [др.]. Сорбционные свойства хитина и его производных: Хитин, его строение и свойства / Л. Ф. Горовой, В. Н. Косяков // хитин и хитозан. Получение, свойства и применение. М.: Наука, 2002. С. 217-246.
19. Маслова Г.В. Теория и практика получения хитина электрохимическим способом / Г. В. Маслова // Хитин и хитозан. Получение, свойства и применение. М.: Наука, 2002. С. 24-43.
20. Осовская И.И. и [др.]. Хитин-глюкановые комплексы (Физико-химические свойства и молекулярные характеристики): учебное пособие / И.И. Осовская, Д.Л. Будилина, Е.Б. Тарабукина, Л.А. Нудьга, под. ред. Г.М. Полторацкого и др./ ГОУВПО СПбГТУРП. СПб., 2010. с. 52.
21. Хитин и хитозан. Получение, свойства и применение / Под ред. К.Г. Скрябина, Г.А. Вихоревой, В.П. Варламова. М.: Наука, 2002. 368 с.
22. Bilman T.L., Newland M., Wester A. In-situ cleaning of the soil with diesel fuel from pollutants using bioventilation // Hydrol. Sci. J. 1993. 38. № 4. P. 297-308.
23. Bratskaya S., Avramenko V. A., Schwarz S. Chitosan in water treatment // Proceedings of the Conference on Water Resources and Environment Research. Dresden, Germany, July 22-26, 2002. Vol. 3. p. 145-147.
24. Bratskaya S., Avramenko V., Schwarz S., Philippova I. Chitosan and its amphiphilic derivatives in breaking of oil-in-water emulsions // Proceedings of 6th Liquid Matter Conference of the European Physical Society. Utrecht, the Netherlands, July 2-6, 2005. p. 169.
25. Dorf W., Stelof M. Snierung cines kontaminirten bodens Bacterieller abbau von disolf // Forsch. Actnel. 1989. v. 6. № 24 - 26. p. 33-36.
26. Wang M. J., Jones K. C. Behavior and fate of chlorbenzenes in spiked and sewage sludge-amended soil // Environ. Sci. and Technol. 1994. 28. № 1. p. 1843-1852.
27. Быкова В. М. и [др.]. Сырьевые источники и способы получения хитина и хитозана: хитин, его строение и свойства / В. М. Быкова, С. В. Немцев // Хитин и хитозан. Получение, свойства и применение. М.: Наука, 2002. С. 7-23.
28. Погодина Н.В. и [др.]. Структура и свойства хитозан / Н. В. Погодина, Г.М.Павлов, С.В. Бушин и др.// Высокомолекулярные соединения серия А. 1986. Т. 28. № 2. С. 232-239.
29. Баранова В.Н. и [др.]. Модифицированный хитозан в производстве бумаги / В. Н. Баранова, Е. А. Плиско, Л. А. Нудьга // Бумажная промышленность, 1976, № 3. С. 7-10.
30. Горизонтов П.Д. и [др.]. Радиозащитная и лечебная эффективность препарата РС-10

в опытах на собаках / П. Д. Горизонтов, В. Д. Рогозкин, В. А. Разоренова, Андрианова И. Е., М. В. Тихомирова // Бюллетень Радиационной Медицины. 1967, № 1. С. 12-25.

31. Чернов Г.А. и [др.]. Противолучевой эффект ионогенных полимеров / Г. А. Чернов, В. П. Евдаков, В. А. Кабанов // Бюллетень Радиационной Медицины, 1963. 33 с.

32. Pyina A.V., Tikhonov V.E., Albulov A.I., Varlamov V.P. Enzymic preparation of acid-free-water-soluble chitosan // Process Biochemistry, 2000, v. 35, № 6. P. 563-568.

33. Слисаренко Ф.Я. Физико-химические исследования структуры природных сорбентов. Саратов: Наука, 1971. 112 с.

34. Сафронова Т.М. Применение хитозана в производстве пищевых продуктов: хитин, его строение и свойства // Хитин и хитозан. Получение, свойства и применение. М.: Наука, 2002. С. 346-359.

35. Шиш С.И., Виноградов Г.В. Патент 2139887 РФ, МПК 6 С 08 В37 / 08. Способ получения хитозана. № 99104475/04; Заявлено 26.03.98; Опубл. 27.07.99 // Изобретения. 1999. № 29. С. 297.

36. Осовская И.И. и [др.]. Хитин-глюкановые комплексы (Физико-химические свойства и молекулярные характеристики): учебное пособие / И.И. Осовская, Д.Л. Будилина, Е.Б. Тарабукина, Л.А. Нудьга, под. ред. Г.М. Полторацкого и др./ ГОУВПО СПбГТУРП. СПб., 2010. с. 52.

37. Вальков В.Ф., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Почвоведение. Учебное пособие. Ростов н/Д: Изд-во Центр МарТ, 2006. 496 с.

38. Аكوпова Т.А. Образование хитозана из хитина в условиях сдвиговых деформаций / Т.А. Аكوпова // Высокомолекулярные соединения. 1990, Т. 33 Б, № 10. С. 735-737.

39. Рогозина Е.А. и [др.]. Биопрепараты серии НАФТОКС для очистки почвенных и водных экосистем от нефтезагрязнений / Е.А. Рогозина, А.В.Хотянович, Р.А. Архангельская и [др.]. // Сборник докладов I Международная конференции «Охрана окружающей среды при поиске разведке, разработке месторождений углеводородного сырья, его переработке и транспортировке». СПб.: 1995. С. 137-144.

40. Рогозина С.З. Исследование целлюлозно-хитозановых смесей, полученных в условиях сдвиговых деформаций / С.З. Рогозина и [др.]. // Высокомолекулярные соединения. 2000, Т. 42 А, № 1. С. 10-15.

41. Федосеева Е.Н. и [др.]. Свойства растворов хитозана / Е.Н. Федосеева, Ю.Д. Семчиков, Л.А. Смирнова // Высокомолекулярные соединения серия Б. 2006. Т. 48. № 10. С. 1930-1935.

42. Федосеева Е.Н. [и др.]. Вязкостные свойства растворов хитозана и его реакционная способность / Е.Н. Федосеева, Л.А. Смирнова, В.Б. Федосеев // Химия. Вестник Нижегородского университета им. Н. И. Лобачевского, 2008. № 4. С. 59-64.

43. Гальбрайт Л.С. Модифицированные волокнистые и пленочные материалы. // Химические волокна. 2005. № 5. С. 21-27.

44. Шейн Е.В. Курс физики почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2005. 432 с.

45. Кастерина Н.Г. Околелова А.А. Заикина В.Н. Поллютанты в почвах агломерации Волгоград-Волжский. Естественно-гуманитарные исследования. 2015. № 9 (3). С. 15-26.

## References:

1. Arens V.Zh., Gridin O.M. Effektivnye sorbenty dlya likvidatsii neftyanykh razlivov // Ekologiya i promyshlennost' Rossii. 1997. № 3. S. 8-11.

2. Gal'braikh L.S. Khitin i khitozan: stroenie, svoistva, primeneniye // Sorovskii obrazovatel'nyi zhurnal. 2001. Т. 7. № 1. S. 51-56.

3. Klochkova I.I. Issledovanie vliyaniya khitozana na sorbtsionnye svoistva tekstil'nykh materialov iz prirodnykh volokon / I.I. Klochkova, V.V. Safonov, V.A. Volkov // Vseros. seminar «Termodinamika poverkhnostnykh yavlenii i adsorbtsii». Ples. 2006. S. 13-14.

4. Mar'in A.P., Feofilova E.P. Vysokomolekulyarnye soedineniya. M.: Nauka, 1982. Ser. B. T. 24. № 9. S. 658-662.

5. Nemtsov S.V. Nauchnoe obosnovanie kompleksnoi tekhnologii khitina, khitozana iz pantsiryа promyslovykh rakoobraznykh i produktov ikh osnovanii / S. V. Nemtsov // Avtoreferat na soiskanie uchenoi stepeni doktora tekhnicheskikh nauk. M: VNIRO, 2006.55 s.

6. Utkina E.E. i [dr.]. Ispol'zovanie biopolimerov v kachestve sorbentov v reshenii problem zagryazneniya vody / E.E. Utkina, V.F. Kablov // Vysokie tekhnologii – strategiya XXI veka Mater.konf., Moskva / Ros. fond razvitiya vysokikh tekhnologii [i dr.]. M.: Nauka, 2009. S. 383-385.
7. Fomin V.A. Biorazlagaemye polimery, sostoyanie i perspektivy ispol'zovaniya / V.A. Fomin, V. V. Guzeev // Plasticheskie massy. 2001. № 2. S. 42-48.
8. Chernyshenko A.O. Tverdotel'nyi sintez khitozana i poluchenie materialov na ego osnove: Avtoref. diss. k.kh.n. M., 2007. 16 s.
9. Khismatoullin R.G., Nemtsev S.V., Zueva O.U. and Varlamov V.P. // Bees as a Potential Sources of Chitosan and Melanin // Bees for New Asia. Proceedings of the Seventh Asian Apicultural Association Conference and Tenth BEENET Symposium and Technofora. University of the Philippines Los Banos.Ed. by Edwin N. Camaya&Cleofas R. Cervancia, 2004. P. 359-360.
10. Kulikov S.N., Alimova F.K., Zakharova N.G., Nemtsev S.V. and Varlamov V.P. // Biological Preparations with Different Mechanisms of Action for Protecting Potato against Fungal Diseases // Applied Biochemistry and Microbiology, 2006, vol. 42, №. 1. P.77-83.
11. Muzzarelli R. A. Chitin in nature and technology. New-York, 1986. 300 s.
12. Shahidi F., Synowiecki J. «Isolation and characterization of nutrients and value-added products from snow crab (*Chionoecetes opilio*) and shrimp (*Pandalus borealis*) processing discards». Journal of Agricultural and Food Chemistry. 1991, № 39, P. 1527-1532.
13. Schorigin P.P., Heit E.W., Uber die Methylether des Chitins // Berichte, 1935, V. 68. P. 971-973.
14. Varlamov V.P., Ilyina A.V., Bannikova G.E., Lopatin S.A., Nemtsev S.V., Yusupova D.V., Melent'ev A.I., Sukhanova P.P., Vichoreva G.A // Enzymatic depolymerization of chitosan and sulfated chitosan. // Chitin Enzymology 2001 R. A. A. Muzzarelli, ed. Atec, Italy, 2001, P. 423-429.
15. Bulanova A.V., Gretskova I.V., Muratova O.V. Issledovanie sorbtsionnykh svoystv sorbentov, primenyaemykh dlya ochistki pochv ot neftyanykh zagryaznenii // Vestnik SamGU. Estestvenno-nauchnaya seriya. 2005. № 3. (37). S. 150-158.
16. Kokorina N.G. Detoksikatsiya khitozonom neftezagryaznennykh pochv Volgogradskoi aglomeratsii. Aftoreferat kand. biol. n. R-n/D. 2012.- 24 s.
17. Okolelova A.A., Egorova G.S. Fond pochvenno-geneticheskogo raznoobraziya Volgogradskoi oblasti. Volgograd. IPK «Niva». 2008. 104 s.
18. Gorovoi L.F. i [dr.]. Sorbtsionnye svoystva khitina i ego proizvodnykh: Khitin, ego stroenie i svoystva / L. F. Gorovoi, V. N. Kosyakov // khitin i khitozan. Poluchenie, svoystva i primenenie. M.: Nauka, 2002. C. 217-246.
19. Maslova G.V. Teoriya i praktika polucheniya khitina elektrokhimicheskim sposobom / G.V. Maslova // Khitin i khitozan. Poluchenie, svoystva i primenenie. M.: Nauka, 2002. S. 24-43.
20. Osovskaya I.I. i [dr.]. Khitin-glyukanovye komplekсы (Fiziko-khimicheskie svoystva i molekulyarnye kharakteristiki): uchebnoe posobie / I.I. Osovskaya, D.L. Budilina, E.B. Tarabukina, L.A. Nud'ga, pod. red. G.M. Poltoratskogo i dr./ GOUVPO SPbGTURP. SPb., 2010. s. 52.
21. Khitin i khitozan. Poluchenie, svoystva i primenenie / Pod red. K.G. Skryabina, G.A. Vikhorevoi, V.P. Varlamova. M.: Nauka, 2002. 368 s.
22. Bilman T.L., Newland M., Wester A. In-situ cleaning of the soil with diesel fuel from pollutants using bioventilation // Hydrol. Sci. J. 1993. 38. № 4. P. 297-308.
23. Bratskaya S., Avramenko V. A., Schwarz S. Chitosan in water treatment // Proceedings of the Conference on Water Resources and Environment Research. Dresden, Germany, July 22–26, 2002. Vol. 3. p. 145-147.
24. Bratskaya S., Avramenko V., Schwarz S., Philippova I. Chitosan and its amphiphilic derivatives in breaking of oil-in-water emulsions // Proceedings of 6th Liquid Matter Conference of the European Physical Society. Utrecht, the Netherlands, July 2-6, 2005. p. 169.
25. Dorf W., Stelof M. Snierung cines kontaminirten bodens Bacterieller abbau von disolf // Forsch. Actnel. 1989. v. 6. № 24 – 26. p. 33-36.
26. Wang M. J., Jones K. C. Behavior and fate of chlorbenzenes in spiked and sewage sludge-amended soil // Environ. Sci. and Technol. 1994. 28. № 1. p. 1843-1852.
27. Bykova V. M. i [dr.]. Syr'evye istochniki i sposoby polucheniya khitina i khitozana: khitin, ego stroenie i svoystva / V. M. Bykova, S. V. Nemtsev // Khitin i khitozan. Poluchenie, svoystva i primenenie. M.: Nauka, 2002. C. 7-23.

28. Pogodina N.V. i [dr.]. Struktura i svoistva khitozan / N. V. Pogodina, G.M. Pavlov, S.V. Bushin i dr. // *Vysokomolekulyarnye soedineniya seriya A*. 1986. T. 28. № 2. С. 232-239.
29. Baranova V.N. i [dr.]. Modifitsirovannyi khitozan v proizvodstve bumagi / V.N. Baranova, E. A. Plisko, L. A. Nud'ga // *Bumazhnaya promyshlennost'*, 1976, № 3. С. 7-10.
30. Gorizontov P.D. i [dr.]. Radiozashchitnaya i lechebnaya effektivnost' preparata RS-10 v opytakh na sobakakh / P. D. Gorizontov, V. D. Rogozkin, V. A. Razorenova, Andrianova I. E., M.V. Tikhomirova // *Byulleten' Radiatsionnoi Meditsiny*. 1967, № 1. С. 12-25.
31. Chernov G.A. i [dr.]. Protivoluchevoi effekt ionogennykh polimerov / G. A. Chernov, V.P. Evdakov, V. A. Kabanov // *Byulleten' Radiatsionnoi Meditsiny*, 1963. 33 s.
32. Ilyina A.V., Tikhonov V.E., Albulov A.I., Varlamov V.P., Enzymic preparation of acid-free-water-soluble chitosan // *Process Biochemistry*, 2000, v. 35, № 6. P. 563-568.
33. Slisarenko F.Ya. Fiziko-khimicheskie issledovaniya struktury prirodnykh sorbentov. Saratov: Nauka, 1971. 112 s.
34. Safronova T.M. Primenenie khitozana v proizvodstve pishchevykh produktov: khitin, ego stroenie i svoistva // *Khitin i khitozan. Poluchenie, svoistva i primeneniye*. M.: Nauka, 2002. S. 346-359.
35. Shish S.I., Vinogradov G.V. Patent 2139887 RF, MPK 6 S 08 V37 / 08. Sposobpolucheniya khitozana. № 99104475/04; Zayavleno 26.03.98; Opubl. 27.07.99 // *Izobreteniya*. 1999. № 29. С. 297.
36. Osovskaya I. I. i [dr.]. Khitin-glyukanovye komplekсы (Fiziko-khimicheskie svoistva i molekulyarnye kharakteristiki): uchebnoye posobie / I.I. Osovskaya, D.L. Budilina, E.B. Tarabukina, L.A. Nud'ga, pod. red. G.M. Poltoratskogo i dr. / GOUVPO SPbGTURP. SPb., 2010. s. 52.
37. Val'kov V.F., Kazeev K.Sh., Kolesnikov S.I. Pochvovedeniye. Uchebnoye posobie. Rostov n/D: Izd-vo Tsentr MarT, 2006. 496 s.
38. Akopova T.A. Obrazovanie khitozana iz khitina v usloviyakh sdvigovykh deformatsii / T.A. Akopova // *Vysokomolekulyarnye soedineniya*. 1990, T. 33 B, № 10. С. 735-737.
39. Rogozina E.A. i [dr.]. Biopreparaty serii NAFTOKS dlya ochistki pochvennykh i vodnykh ekosistem ot neftezagryaznenii / E.A. Rogozina, A.V. Khotyanovich, R.A. Arkhangel'skaya i [dr.]. // *Sbornik dokladov I Mezhdunarodnaya konferentsii «Okhrana okruzhayushchei sredy pri poiske razvedke, razrabotke mestorozhdenii uglevodorodnogo syr'ya, ego pererabotke i transportirovke»*. SPb.: 1995. С. 137-144.
40. Rogozina S.Z. Issledovanie tsellyulozno-khitozanovykh smesei, poluchennykh v usloviyakh sdvigovykh deformatsii / S.Z. Rogozina i [dr.]. // *Vysokomolekulyarnye soedineniya*. 2000, T. 42 A, № 1. С. 10-15.
41. Fedoseeva E.N. i [dr.]. Svoistva rastvorov khitozana / E.N. Fedoseeva, Yu.D. Semchikov, L.A. Smirnova // *Vysokomolekulyarnye soedineniya seriya B*. 2006. T. 48. № 10. С. 1930-1935.
42. Fedoseeva E.N. [i dr.]. Vyazkostnyye svoistva rastvorov khitozana i ego reaktivnaya sposobnost' / E.N. Fedoseeva, L.A. Smirnova, V.B. Fedoseev // *Khimiya. Vestnik Nizhegorodskogo universiteta im. N. I. Lobachevskogo*, 2008. № 4. С. 59-64.
43. Gal'braikh L.S. Modifitsirovannyye voloknistyye i plenochnyye materialy. // *Khimicheskie volokna*. 2005. № 5. S. 21-27.
44. Shein E.V. Kurs fiziki pochv. M.: Izd-vo Mosk. un-ta, 2005. 432 s.
45. Kasterina N.G. Okolelova A.A. Zaikina V.N. Pollyutanty v pochvakh aglomeratsii Volgograd-Volzhskaa. Estestvenno-gumanitarnyye issledovaniya. 2015. № 9 (3). S. 15-26.

УДК 631.41

### Детоксикация нефтезагрязненных почв хитозаном и его трансформация

<sup>1</sup> Н.Г. Кастерина

<sup>2</sup> А.А. Окоелова

<sup>1</sup> Волжский политехнический институт филиал ВолгГТУ, Российская Федерация  
E-mail: Kokorinang@yandex.ru

<sup>2</sup> Волгоградский государственный технический университет, Российская Федерация  
E-mail: allaokol@mail.ru

**Аннотация.** Вопросы ремедиации нефтезагрязненных почв актуальны в связи с бурным развитием нефтегазодобывающей промышленности и инфраструктуры. Распространенным и наиболее эффективным методом детоксикации почв является сорбция. На данный момент известно около двухсот видов различных сорбентов. Нами впервые изучена возможность применения для детоксикации почв природного биополимера хитозана. В научной литературе имеются данные об его применении только для очистки поверхностных и сточных вод.

Хитозан - природный биополимер, нетоксичен, биodeградирует под действием ферментов до обычных его компонентов (глюкозамин, N - ацетилглюкозамин). Обладает высокой сорбционной способностью к переходным и, токсичным тяжелым металлам. Изучаемый сорбент готовят из хитина ракообразных. Экономичность использования хитозана обусловлена наличием местной сырьевой базы: отходов, получаемых при очистке турбин Волжской ГЭС. Утилизация хитинсодержащих отходов решает вопрос охраны окружающей среды, снижает стоимость сорбента. Высокая сорбционная способность мелко измельченного хитозана на светло-каштановых глинистых почвах обусловлена следующим: поры в мелко измельченном хитозане на порядок меньше, чем в почве, что позволяет ему механически удерживать поллютанты; за счет меньшего поверхностного натяжения у сорбента, чем в глинистой структуре; хемосорбция хитозаном нефтепродуктов из почв происходит за счет сольватационного эффекта посредством образования макромолекулярных комплексов. Большая эффективность сорбции нефтепродуктов раствором хитозана в светло-каштановых песчаных почвах вызвана следующими причинами: большей реакционной способностью функциональных групп в растворе хитозана. твердый сорбент при контакте с загрязненным песком образует меньшую поверхность контакта, чем раствор, который обволакивает каждую загрязненную частицу песка, увеличивая поверхность контакта. Раствор хитозана образует пленку на поверхности почвы, которую при необходимости легко механически удалить. При ее нагреве пленки до 40 °C сорбированные нефтепродукты остаются в связанном состоянии. С другой стороны, удалять пленку не обязательно, так почвенная микрофлора в течение 2-3 месяцев разлагает природный биосорбент.

Показана почти полная сорбция нефтепродуктов из светло-каштановой глинистой почвы мелкоизмельченным хитозаном, из светло-каштановой песчаной почвы – 0,1 % раствором хитозана, в обоих случаях равная 99,96 %. Эффективность двухсуточной сорбции нефтепродуктов мелкоизмельченным хитозаном примерно вдвое выше в глинистой почве по сравнению с песчаной. В глинистой почве основная часть нефтепродуктов сорбируется в течение первых и вторых суток, в песчаной почве такой зависимости не выявлено. Для наиболее полного извлечения нефтепродуктов достаточное время экспозиции составляет 2-4 суток. Оптимальная сорбция нефтепродуктов достигается при концентрации 0,1 % раствором хитозана по сравнению с 0,05 %. Для ликвидации разливов нефтепродуктов в светло-каштановой глинистой почве мелкоизмельченный хитозан, 0,1 % раствор хитозана – в светло-каштановой песчаной почве. Для предупреждения разливов нефтепродуктов и их последующей миграции в почве при строительстве АЗС предлагаем создавать сорбционный барьер.

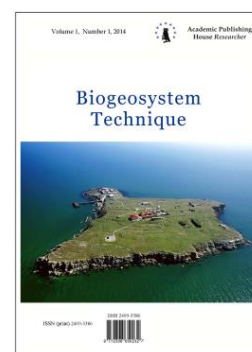
**Ключевые слова:** нефтепродукты, природный сорбент, механизм сорбции, сорбционный барьер.

Copyright © 2015 by Academic Publishing House *Researcher*



Published in the Russian Federation  
Biogeosystem Technique  
Has been issued since 2014.  
ISSN: 2409-3386  
E-ISSN: 2413-7316  
Vol. 5, Is. 3, pp. 298-312, 2015

DOI: 10.13187/bgt.2015.5.298  
[www.ejournal19.com](http://www.ejournal19.com)



UDC 631.348

### **Use of Monodisperse Anthropogenic Aerosols is a New Resource Saving Scientific and Technical Line of Development**

- <sup>1</sup> Michael S. Sokolov  
<sup>2</sup> Jury M. Veretennikov  
<sup>3</sup> Valery G. Ostrovsky  
<sup>4</sup> Igor Ja. Paremsky  
<sup>5</sup> Jury Ja. Spiridonov  
<sup>6</sup> Leonid A. Marchenko  
<sup>7</sup> Alla V. Ovsyankina  
<sup>8</sup> Viktor G. Selivanov

<sup>1, 5, 7</sup> All-Russian Research Institute of Phytopatology, Federal Agency for Scientific Organizations, Russian Federation

<sup>2, 8</sup> Ministry of Agriculture of the Russian Federation, Russian Federation

<sup>3</sup> JSC Central Scientific Design Office, Russian Federation

<sup>4</sup> Bauman MSTU, Russian Federation

<sup>6</sup> All-Russian Institute of Mechanization, Klin Branch, Russian Federation

<sup>6</sup> Federal Agency for Scientific and Organizations, Russian Federation

<sup>1</sup> Doctor (Biol), academician, scientific adviser Institute of Phytopatology, Federal Agency for Scientific Organizations, Russian Federation

E-mail: sokolov34@mail.ru

<sup>2</sup> Laureat RF Government Prize, Russian Federation

<sup>3</sup> PhD, Head of TSNKB, Russian Federation

<sup>4</sup> Senior lecturer, Bauman MSTU, Russian Federation

<sup>5</sup> Doctor (Biol), Academician, Head of Department of Research Institute of Phytopatology, Federal Agency for Scientific Organizations, Russian Federation

<sup>6</sup> PhD, Deputy Head of the company, Russian Federation

<sup>7</sup> PhD, Deputy Head of department, Federal Agency for Scientific Organizations, Russian Federation

<sup>8</sup> PhD, Head of the Center for testing agriculture technics FGBNU, Russian Federation

#### **Abstract**

The paper discusses the features and benefits of monodisperse aerosols of pesticides and hydrocarbon fuels used in plant protection and internal combustion engines as a result of long-term research. A new line of development of science, engineering, industrial and agricultural technologies – the authors' project "Monodisperse Anthropogenic Aerosols" is proposed. The specific measures for its implementation are presented.

The method of mechanics and gas-hydrodynamic effects on the torch of the fluid spray process with disk working body for drops separation. Device mode: using herbicides – droplet size in the range 250-350 microns, using insecticides – 160-250 microns, fungicides – 60-160 microns.

The authors' patent Method of Estimation of Spray Parameters of Dispersion-Capable Process Fluid and Unit for its Implementation. RU №.2516581, 02.05.2014 actually begins a new resource-saving scientific and technical branch – “**Monodisperse Anthropogenic Aerosols**” (MAA)\*\*.

A method for estimating the parameters of the fluid spray dispersion-capable process by means of a pulsed laser, the photographic, computer, allowing to sort drops on standard size classes.

The most important condition for the MAA project implementation is creation of experimental base. Its task: a) design and technological assessment of prototypes of monodisperse and polydisperse spray devices and mechanisms; b) design and development engineering of special test stands. These stands will provide standard conditions for testing of operation conditions of various nozzles and sprayers used in different fields of science, engineering and production. It is planned to equip experimental base with the latest optical and electronic and laser systems for measurement, control and regulation of dispersion degree of the estimated dispersion-fluid systems. For the first time, a tester will be able “**to see, measure, create, standardize and reproduce**” substance of aerosol droplets spray generated by a sprayer.

Another, no less important priority, scientific and technical task of the MAA Project is creation of modern engineering base or experimental and serial production of monodisperse small and micro-volume chamber and field sprayers. The long-term research carried out in All-Russia Research Institute of Phytopatology showed that monodisperse small and micro-volume spraying was bas on the use of conventional or even more cheaper preparative forms of pesticides. The weight of sprayer is significantly reduced due significant reduction of working fluid application rates (and thus, soil compaction is reduced in the process of its work). Productivity is increased and at least 25 % reduction in dose is provided due to elimination of losses of the working fluid in the form of inefficient small and large drops. At the same time it is important that the testers registered substantial increase of profitability indicators as a result of protective measures. Thus, decrease in spraying rate of the working fluid flow from 200 to 10 l/ha doubles the productivity. Due to this, direct costs only for treatment of a crop unit (without regard to pesticides consumption reduction) are reduced by 3 times. Sprayers with adjustable dispersion, enabling to control spraying parameters of the working fluid directly in the field fully comply with international standards of environmental safety – *controlled drop application (CDA)*. However so far, polydisperse fluid spraying causes environmental and economic damage everywhere. And all this – at gigantic scales! We can cope with this problem if we make spraying of working fluids *monodisperse* and *controlled*.

**Keywords:** monodisperse aerosol, pesticide, hydrocarbon fuel, drops separation, pulsed laser, project “Monodisperse Anthropogenic Aerosols”.

*В природе объективно «существует  
лишь то, что можно измерить»  
Макс Планк, немецкий физик (1858-1947)*

## **Введение**

**Пролог.** По полю движется опрыскиватель и распыляет пестициды. Его технологический КПД зачастую не превышает 25 %. Причина: полидисперсный распыл и, следовательно, неизбежные потери распыляемых капель рабочего раствора. Результат: крупные капли стекают с листьев, теряются и, попадая на почву, отравляют её биоту, мелкие – испаряются и/или улечиваются, загрязняя смежные угодыя.

Автомобиль, кроме полезной работы, производит выхлопные газы, содержащие не только пары воды и углекислый газ, но также CO, CH<sub>4</sub>, другие вредные остатки несгоревшего топлива. Причина та же – полидисперсный состав капель топлива, впрыскиваемого форсунками в двигатель: крупные капли не успевают полностью сгореть. Велика ли разница между каплями 1,0 мкм и 3,0 мкм? Казалось бы невелика, но их объём и

\* (MAA)\* is the author's interpretation of a new tendency of development of science, engineering, industrial and agricultural technologies.

масса различаются в 27 раз! И сгорать они будут с разным КПД. Аналогичные проблемы – и при сжигании жидких топлив в авиационных и ракетных двигателях, а также в топках ТЭС.

Технологическая активность, если она выполняется на низком техническом уровне, дает не искомый результат повышения качества жизни, а экономические потери и неисчислимый экологический вред в самых разных сферах деятельности [1-3]. И всё проявляется в глобальном масштабе.

Справиться с этой проблемой можно, если **распыление жидкостей сделать регулируемым** и, в определённых задачах процесса узких пределах, **монодисперсным**.

В мире – сотни миллионов форсунок и распылителей круглосуточно работают в различных сферах народного хозяйства. Однако человек пока так и не научился корректно измерять *размеры* (объёмы) капель распыляемых жидкостей, *скорости* и *траектории* их движения и, тем более, оптимизировать их дисперсность. А без точного определения и регулирования этих характеристик невозможно оптимизировать конструкции распылительных устройств, обеспечить заданный монодисперсный распыл для радикального сокращения технологических потерь материальных ресурсов [4-10].

К примеру, качество распыления технологических жидкостей по современному американскому стандарту [11, 12], как и в 60-е годы XX века, оценивается исключительно прилагательными, например: капля «очень мелкая, мелкая, средняя, крупная, очень крупная, чрезвычайно крупная». Удерживаемость капель растением в стандарте предлагают характеризовать от «отличной» до «очень плохой». Без комментариев!

Объективной характеристикой современной науки по диспергированию жидкостей, в частности, рабочих растворов пестицидов и жидких углеводородов (при сжигании последних в двигателях и топках) могут послужить слова нашего великого химика – Д.И. Менделеева: «Наука начинается... с тех пор, как начинают измерять; точная наука немислима без меры».

**Нереализованная инновация.** В бывшем СССР в 1961-1990 гг. на машиноиспытательных станциях проводились ежегодные плановые государственные испытания различных конструкций опрыскивающей техники (включая импортную) с целью снижения непродуктивных потерь пестицидов. По результатам испытаний были спроектированы, выполнены в металле и оценены первые образцы распылительных устройств «с повышенной монодисперсностью», в том числе и основанные на оригинальном способе – сепарация полидисперсных капель [13]. Новая малообъёмная техника (опрыскиватель ОСК-200) уже тогда обеспечила существенное повышение КПД пестицидов и сокращение норм их расхода минимум на 25 %.

Одним из научно-технических результатов этих испытаний стала установленная (на различных сельскохозяйственных культурах) технологическая закономерность распределения рабочего раствора: чем больше близких по размеру капель заданной концентрации системного пестицида осаждаются на единице обрабатываемой площади, тем (до известного предела) меньше требуется препарата для достижения необходимого хозяйственного эффекта. Именно поэтому «близкое к монодисперсному» малообъёмное распыление пестицидов для обеспечения требуемого агротехнического результата позволяло сокращать нормы их расхода, как минимум, на 25%. Только на экономии пестицидов в стране (на площади 70 млн. га) это могло бы дать сегодня ежегодный экономический эффект порядка 7,5 млрд. руб. (в ценах 2015 г.).

В 1990 гг. в г. Подольске (Московская обл.) была создана машиностроительная база серийного производства монодисперсной распылительной техники для сельского хозяйства. За создание новой техники и современной, по тому времени, машиностроительной базы группе ученых и специалистов была присуждена премия Правительства РФ в области науки и техники (постановление от 17.03. 1999 г. №306). Опрыскиватели «с повышенной монодисперсностью» и сегодня могли бы конкурировать с зарубежными устройствами по нормам расхода пестицидов, качеству диспергирования рабочей жидкости, производительности, другим параметрам. Могли бы, если бы после распада СССР в России сохранилась отлаженная государственная система внедрения научно-технических достижений: «наука → новая техника → производство». Но, освоение и серийное



внедрение научно-технических достижений уже давно превратились в неразрешимую проблему...

Создание на современном научном уровне опрыскивателей с регулируемой дисперсностью рабочей жидкости и их внедрение в систему защиты растений позволило бы успешно решить следующие жизненно важные социально-экологические задачи:

- Повысить КПД использования пестицидов в сельском и лесном хозяйстве;
- Исключить загрязнение посевов и открытых водоисточников, повреждение и/или гибель посевов и насаждений чувствительных культур вследствие сноса ветром гербицидов на смежные территории;
- Существенно уменьшить экотоксикантную нагрузку на агроценозы, ускорить их самоочищение;
- Сберечь разнообразие биологических и генетических ресурсов агроэкосистем;
- Производить нормативно чистую агропродукцию.

**Цель исследований – улучшение параметров** распыления технологической жидкости и объективный количественный контроль параметров газо-гидродинамической системы.

#### **Объекты и методы**

Объект исследований – факел газо-гидродинамической системы.

Метод – механико-газо-гидродинамическое воздействие на факел распыляемой технологической жидкости.

Приборы и техника эксперимента – распыляющий рабочий орган, оптико-электронная двухлазерная установка с цифровым устройством обработки сигналов изображения для контроля параметров дисперсной среды.

#### **Результаты и обсуждение**

Метод механико-газо-гидродинамического воздействия на факел распыляемой технологической жидкости реализован в способе обработки растений [14]. Способ включает подачу рабочей жидкости на рабочие органы устройства, контроль поступления жидкости на рабочие органы, распыление рабочей жидкости дисковыми рабочими органами с целью сепарации капель. Режим работы устройства выбирают: при использовании гербицидов – размер капель в диапазоне 250-350 мкм, при использовании инсектицидов – 160-250 мкм, фунгицидов – 60-160 мкм. Генератор аэрозоля имеет штангу с закрепленными на ней распыляющими рабочими органами.

Рабочий орган снабженным электродвигателем. Имеется насос-дозатор, снабженный блоком управления нормой расхода жидкости согласно дозе препарата на единицу площади, ширине захвата и скорости движения устройства в процессе выполнения обработки.

Предложенный способ обработки растений распыляющим рабочим органом обеспечивает равномерное (по ширине захвата) опрыскивание растений, надежность работы позволяет проводить обработку системным препаратом с малой нормой расхода рабочей жидкости. Конструктивное выполнение устройства позволяет уменьшить экологическую нагрузку на агроценоз и ландшафт в результате уменьшения расхода препарата, снизить уплотнение почвы за счет уменьшения объема резервуара ввиду снижения неэффективного расхода жидкости.

Для обеспечения объективного количественного контроля параметров аэрозоля, вырабатываемого распыляющим рабочим органом, предложена оптико-электронная двухлазерная установка с цифровым устройством обработки сигналов изображения для контроля параметров дисперсной среды [13].

Решена задача измерения скоростей капель в факеле распыляемой технологической жидкости посредством анализа величин приведенных интегральных объемов капель на единицу площади с последовательной сортировкой по диапазонам размеров капель. Для решения задачи предложен способ оценки параметров факела распыла дисперсионно-способной технологической жидкости. Получаемый из распылительного устройства факел жидкости в заданном месте и направлении «рассекают» лазерной световой плоскостью, сформированной из импульсного луча импульсного лазера с помощью оптической системы в виде плоского светового пучка с равномерным распределением его интенсивности. Излучение лазера регистрируют фоторегистратором и передают на компьютер для дальнейшей обработки импульсное световое изображение рассеянной части факела. Определяют параметры дисперсионного распыла капель в данной части факела. При этом дополнительно производят определение скоростей движения капель факела с помощью лазер-доплеровского эффекта. Для этого используют излучение дополнительного непрерывного лазера, которое с помощью оптической схемы делят на два пересекающихся луча. В области их пересечения формируют измерительный объем с пространственно-периодическим распределением интенсивности света, при этом частота света, рассеянного движущейся каплей, отличается от частоты падающего света лазера на величину, зависящую от скорости движения капли и однозначно с ней связанную. Это излучение собирают в большом телесном угле с помощью объектива и через диафрагму подают в фотоприемник, где с помощью анализатора спектра производят электронный спектральный анализ частот рассеянного света и определяют центральную частоту спектра, также фиксируют значение длины волны излучения лазера. Определяют расчетом скорость движения капли, по зарегистрированному импульсному световому изображению рассеянной плоской с малой толщиной части факела распыла определяют параметры распыла капель в данной части факела с помощью системы единиц дисперсности на основе формулы объема сферы (капли аэрозоля). Затем согласно ОСТ 10.6.1-2000 производят сортировку и подсчет количества капель стандартных классов по диапазонам микроскопических размеров.

Полученная с помощью предложенной оптико-электронной двухлазерной установки информация о скоростях движения капель распыляемой жидкости и полях скоростей всего факела – важная характеристика оценки эффективности конкретного распыляющего устройства, объективная возможность совершенствования его конструкции. Это открывает возможность разработки принципиально новых распыляющих устройств для обработки растений пестицидами, а также других областей применения. Так, например, при работе топливных форсунок различие скоростей движения капель одинакового размера в разных частях факела в два и более раз может привести к их неполному сгоранию, т.к. одновременно идут процессы интенсивного испарения и горения. Новые распыляющие устройства должны разрабатываться не только с целью достижения монодисперсного распыла, но и с такими скоростями движения капель, которые обеспечат их максимально полное сгорание, учитывая объем и конструкцию камеры сгорания. Такой подход способен обеспечить наивысшую энергоэффективность и снизить расход жидкого топлива.

На рис. 1 показана схема движения воздуха и жидкости в распыляющем рабочем органе по [14].

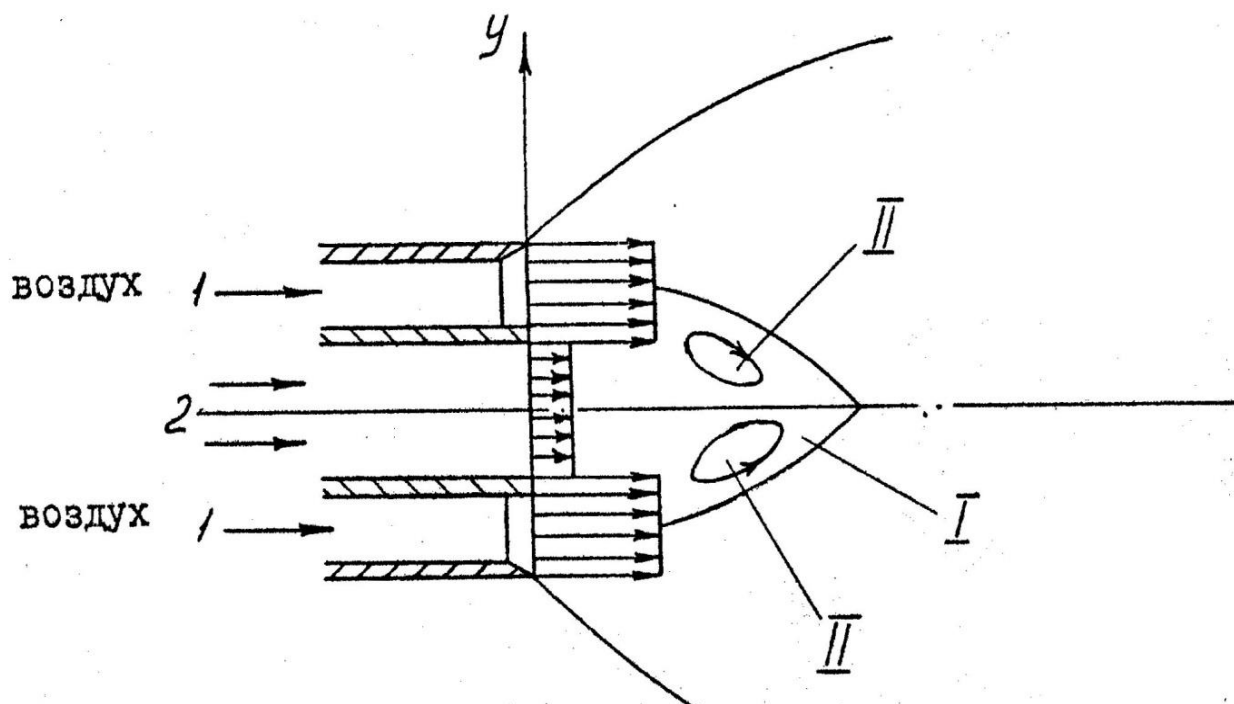


Рис. 1. Схема течения в струе с внутренней зоной разрежения в распыляющем рабочем органе

Как показали исследования, при некоторой степени продольно-поперечной циркуляции воздушного потока (1) вблизи среза жидкостного сопла (2) в окрестности струи возникает область пониженного давления (I) с циркуляционными зонами (II) – область обратных токов. Пониженное давление в ней искривляет траекторию струи, которая, вследствие этого, быстро примыкает к оси симметрии. Поэтому размер области обратных токов не превышает 6 калибров жидкостного сопла.

На рис. 2 показана реализация способа оценки параметров факела дисперсионно-способной технологической жидкости путем сечения газо-гидродинамического потока лазерной световой плоскостью.

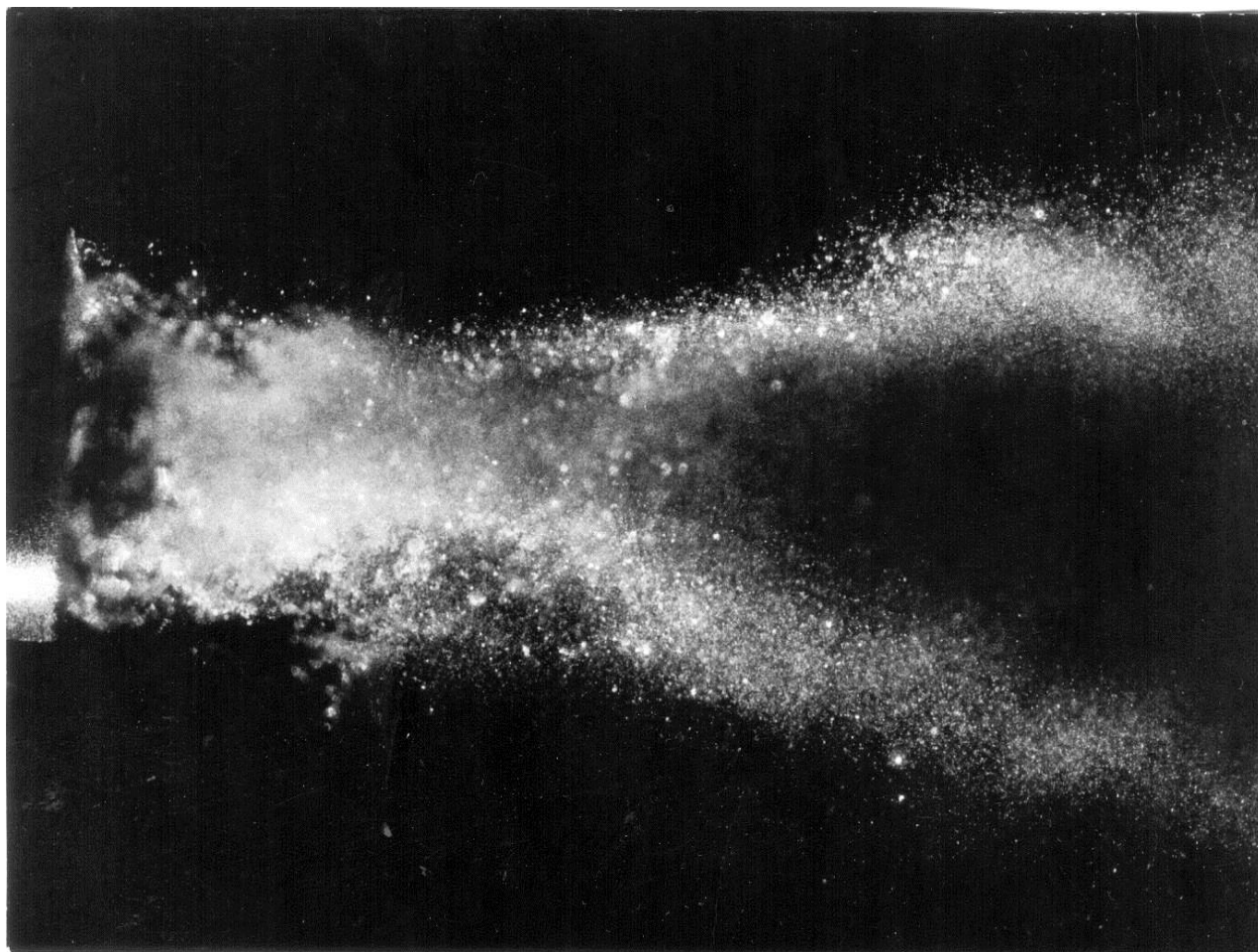


Рис. 2. Факел форсунки при продольно-поперечной циркуляции газо-гидродинамического потока. Увеличение в 40 раз.

### **Апробация и возможности реализации проекта «Монодисперсные Техногенные Аэрозоли»**

В век экспоненциального роста мирового ресурсоэнергопотребления практическое освоение предлагаемого нового направления – монодисперсного распыления жидкостей – кроме сельского и лесного хозяйства обеспечит научно-технический прорыв и в целом ряде других отраслей. В их числе: авто-, авиа- и ракетостроение, химическая, пищевая и микробиологическая промышленность, военно-промышленный комплекс.

В целях практического решения проблемы создания монодисперсных распылительных устройств в России имеются инициативно разработанные теоретические, научно-технические и экономические обоснования этого нового направления, высококвалифицированные научные и инженерные кадры, способные решать эту междисциплинарную задачу. В период 2008-2014 гг. учёные и специалисты (теперь уже бывшей Россельхозакадемии) совместно с МГТУ им. Н.Э. Баумана, специалистами из других научных учреждений в инициативном порядке создали и обосновали новое фундаментальное направление развития науки, техники, промышленных и аграрных технологий – «Монодисперсные Техногенные Аэрозоли» (Проект МТА) [13-31]. Проект нацелен на решение актуальнейших экономических, энергетических, биологических и экологических проблем современности. Это направление, *первооткрывателем которого является Россия*, – итог многолетних научно-исследовательских работ и результатов испытаний авторов Проекта при методологической и организационной поддержке членов РАН (В.И. Долженко, Ю.Ф. Лачуга, С.С. Санин, В.Ф. Федоренко и др.).

В октябре 2011 г. Россельхозакадемия и МГТУ им. Н.Э. Баумана направили на заключение в ОАО «Российская венчурная компания» (РВК) совместный меморандум,

содержащий исчерпывающую характеристику Проекта МТА. В своих ответах (от 21.11.2011 г., №№ 908, 909) ОАО «РВК» признала **мировую значимость** этого «важного инновационного направления» и рекомендовала авторам создать межведомственную лабораторию на базе инновационного центра «Сколково».

25.11.2013 г. и 29.01.14 г. Проект МТА (преимущественно в части его сельскохозяйственного направления) рассмотрела и одобрила Российская ассоциация содействия науке при Президенте РФ под председательством академика Е.П. Велихова. Однако после ликвидации Россельхозакадемии Проект МТА стал, по сути, бесхозным...

### **Проект МТА и первоочередные задачи в сфере защиты растений**

Поскольку образцы полевой техники для монодисперсного опрыскивания пестицидами приобрести за рубежом в ближайшее время нереально (там ее никто не производит!), актуально форсировать отечественное конструирование и производство этих инновационных машин. Разработку опытных конструкций монодисперсных опрыскивателей целесообразно организовать на базе НИУ РАН (ФАНО), используя имеющиеся заделы. Наличие монодисперсного микрообъемного опрыскивателя позволит специалистам успешно решить актуальнейшую агроэкологическую задачу: *«Оптимизировать технологические параметры опрыскивания с целью минимизации пестицидной нагрузки и экологизации химической защиты от вредных организмов посевов экономически значимых сельскохозяйственных культур»*. Вот только несколько практически значимых ожидаемых результатов по итогам её решения [28].

1) Оптимальные параметры дисперсности рабочей жидкости при микро- и/или малообъемном внесении гербицидов и фунгицидов, обеспечивающие максимальное удержание капель целевыми объектами и исключаящие их снос за пределы обрабатываемой территории.

2) Подтвержденная в полевых условиях избирательность рабочих растворов пестицидов, оптимизированных по дозам, параметрам дисперсности, расходу рабочей жидкости.

3) Рекомендации для испытателей наземных полевых монодисперсных опрыскивателей и разработчиков фитосанитарных агротехнологий, включающие оптимизированные технологические характеристики опрыскивания и сниженные нормы расхода агрохимиката, обеспечивающие заданую эффективность приема, существенное повышение экологичности, производительности и рентабельности химзащитных работ.

### **Новый российский патент – что даёт его реализация?**

*«Открытие – это то, что существовало в природе, но не было известно, а изобретение – это искусство создавать то, что вообще не существовало»* (Иммануил Кант, 1724–1804). Великие открытия и изобретения XX века обошли стороной жизненно важные проблемы монодисперсного сжигания жидких углеводородов и внесения пестицидов. В технических характеристиках современных опрыскивателей, технологическим продуктом которых являются аэрозоли пестицидов, как в России, так и за рубежом, отсутствуют какие-либо статистически достоверные показатели дисперсности факела распыла – размеров генерируемых капель. Нет таких характеристик ни в мировых каталогах пестицидов, ни в международных стандартах, технических регламентах и инструкциях. Аналогично, отсутствуют характеристики дисперсности впрыскиваемого жидкого топлива и для двигателей внутреннего сгорания [13, 14].

С момента появления первых в мире автомобилей и опрыскивателей (середина – конец XIX века) рассматриваемое изобретение – первое и пока единственное, предназначенное для объективной оценки степени диспергирования жидкостей и идентификации дисперсной фазы с помощью лазеров в зависимости от технологических параметров дисперсионно-способных жидкостных систем (ДЖС). Оно *узаконивает* новое, междисциплинарное направление развития науки и техники – Проект **«Монодисперсные Техногенные Аэрозоли»**.

На основе этого изобретения будут разработаны и созданы принципиально новые испытательные стенды, конструкции распылительных устройств и механизмов для

регулируемого, монодисперсного распыления различных ДЖС, реализованы ресурсоэнергосберегающие приёмы и технологии. Полагаем, что для этого необходимо создать подобающую заявленной проблеме научно-внедренческую структуру – Государственное специализированное конструкторско-технологическое бюро (ГСКТБ) **«Росраспылитель»**.

Монодисперсные способы сжигания жидких углеводородов, распыления растворов пестицидов и других технологических продуктов с КПД более 50 % – это новая энергетически, экономически и экологически обоснованная социально-экологическая парадигма, крайне актуальная в условиях продолжающегося глобального роста мирового ресурсоэнергопотребления и опасности деградации биосферы [1, 32-34].

### **Заключение**

Авторские патенты [13, 14] открывают новое, ресурсоэнергосберегающее научно-техническое направление – **«Монодисперсные Техногенные Аэрозоли» (МТА)\*\***. Важнейшее условие реализации Проект МТА – создание экспериментальной базы ГСКТБ «Росраспылитель». Её задачи: а) конструирование и технологическая оценка опытных образцов монодисперсных и полидисперсных распылительных устройств и механизмов, б) проектирование и конструирование специальных испытательных стендов. Эти устройства обеспечат стандартные условия для тестирования режимов работы разнообразных форсунок и распылителей, применяемых в различных сферах науки, техники и производства. Опытную базу планируется оснастить новейшими оптико-электронными и лазерными системами измерения, контроля и регулирования степени диспергирования испытуемых дисперсионно-жидкостных систем. Испытатель впервые получит возможность **«увидеть, измерить, создать, стандартизировать и воспроизвести»** субстанцию факела капель аэрозоля, генерируемого распылителем.

Другая, не менее важная приоритетная научно-техническая задача Проекта МТА – создание современной машиностроительной базы для опытно-серийного производства монодисперсных мало- и микрообъёмных камерных и полевых опрыскивателей. Как показали многолетние исследования ВНИИ фитопатологии, монодисперсное мало- и микрообъёмное опрыскивание базируется на использовании обычных, либо даже более дешёвых препаративных форм пестицидов. Благодаря существенному снижению норм расхода рабочей жидкости значительно уменьшается масса опрыскивающего агрегата (и тем самым, в процессе его работы снижается уплотнение почвы), повышается производительность труда и, как минимум, обеспечивается 25% снижение дозы препарата за счёт исключения потерь рабочей жидкости в форме неэффективных мелких и крупных капель. Немаловажно, что при этом отмечен существенный рост показателей рентабельности защитных мероприятий. Так, снижение при опрыскивании нормы расхода рабочей жидкости с 200 до 10 л/га повышает производительность труда в 2 раза. За счёт этого прямые затраты только на обработку единицы посева (без учёта экономии на снижении расхода пестицида) сокращаются в 3 раза.

Опрыскиватели с регулируемой дисперсностью, позволяющие управлять параметрами распыления рабочей жидкости непосредственно в полевых условиях, в полной мере соответствует требованиям международного критерия экологической безопасности распыления рабочих жидкостей – controlled drop application (CDA). Однако пока что их полидисперсное распыление повсеместно причиняет экологический вред и экономический ущерб. И всё это – в гигантских масштабах! Справиться с этой проблемой можно, если сделать распыление рабочих жидкостей *монодисперсным и управляемым*.

### **Примечания:**

1. Glazko Valery I., Tatiana T. Galzko Conflicts of Biosphere and Agroecosystems // International Journal of Environmental Problems, Vol. (1), Is. 1, pp. 4-16, DOI: 10.13187/ijep.2015.1.4, 2015. (in Russian)

\* (МТА)\* – авторская интерпретация нового направления развития науки, техники, промышленных и сельскохозяйственных технологий.

2. Batukaev, A.A., A.P. Endovitsky, T.M. Minkina, V.P. Kalinichenko, Z.S. Dikaev and S.N. Sushkova CHEMICAL EQUILIBRIUM OF SOIL SOLUTION IN STEPPE ZONE SOIL // American Journal of Agricultural and Biological Sciences 9 (3): 420-429, 2014. doi:10.3844/ajabssp.2014.420.429 Published Online 9 (3) 2014 <http://www.thescipub.com/ajabs.toc>
3. Kalinichenko Valery P., Viktor F. Starcev Recycling of Poultry Litter by Method of Biogeosystem Technique // International Journal of Environmental Problems, Vol. (1), Is. 1, pp. 17-48. DOI: 10.13187/ijep.2015.1.17, 2015. (in Russian)
4. Richard N. Berglund, Benjamin Y. H. Liu. Generation of monodisperse aerosol standards // Environ. Sci. Technol., 1973, 7 (2), pp 147–153 DOI: 10.1021/es60074a001
5. Bahman Asgharian, James T. Kelly and Earl W. Tewksbury. Respiratory Deposition and Inhalability of Monodisperse Aerosols in Long-Evans Rats // Toxicol. Sci. (2003) 71 (1): 104-111. doi: 10.1093/toxsci/71.1.104
6. Department of Pesticide Regulation. M E M O R A N D U M. HSM-08011. December 31, 2008. <http://www.cdpr.ca.gov/docs/whs/memo/hsm08011.pdf>
7. Graham Matthews, Roy Bateman, Paul Mille. Pesticide Application Methods. John Wiley & Sons, 2014. [https://books.google.ru/books?id=IEOMAgAAQBAJ&pg=PT580&lpg=PT580&dq=monodisperse+aerosols+for+agriculture+pesticides&source=bl&ots=y5b1Rb2Fec&sig=AXii2DcJYYiUFiIjBwf11\\_EIZ-M&hl=en&sa=X&ved=oCCYQ6AEwAWoVChMIoKu75cTdyAIV4t9yCh2Kggd3#v=onepage&q=monodisperse%20aerosols%20for%20agriculture%20pesticides&f=false](https://books.google.ru/books?id=IEOMAgAAQBAJ&pg=PT580&lpg=PT580&dq=monodisperse+aerosols+for+agriculture+pesticides&source=bl&ots=y5b1Rb2Fec&sig=AXii2DcJYYiUFiIjBwf11_EIZ-M&hl=en&sa=X&ved=oCCYQ6AEwAWoVChMIoKu75cTdyAIV4t9yCh2Kggd3#v=onepage&q=monodisperse%20aerosols%20for%20agriculture%20pesticides&f=false)
8. Controlled Particle, Droplet and Bubble Formation / Edited by D J Wedlock. Butterworth-Heinemann Ltd, 2004 [https://books.google.ru/books?id=QbGGAAAQBAJ&pg=PA138&lpg=PA138&dq=monodisperse+aerosols+for+agriculture+pesticides&source=bl&ots=KUtlkGZimf&sig=p6VBNYp5OFF3tPMCaDr\\_V7Z7mT4&hl=en&sa=X&ved=oCEEQ6AEwB2oVChMIoKu75cTdyAIV4t9yCh2Kggd3#v=onepage&q=monodisperse%20aerosols%20for%20agriculture%20pesticides&f=false](https://books.google.ru/books?id=QbGGAAAQBAJ&pg=PA138&lpg=PA138&dq=monodisperse+aerosols+for+agriculture+pesticides&source=bl&ots=KUtlkGZimf&sig=p6VBNYp5OFF3tPMCaDr_V7Z7mT4&hl=en&sa=X&ved=oCEEQ6AEwB2oVChMIoKu75cTdyAIV4t9yCh2Kggd3#v=onepage&q=monodisperse%20aerosols%20for%20agriculture%20pesticides&f=false)
9. Mount Gary A. A CRITICAL REVIEW OF ULTRALOW-VOLUME AEROSOLS OF INSECTICIDE APPLIED WITH VEHICLE-MOUNTED GENERATORS FOR ADULT MOSQUITO CONTROL // Journal of the American Mosquito Control Association, 14(3):305-334, 1998
10. Гумерова Г.Х., Дмитриев А.В., Николаев Н.А. Динамика дисперсной фазы в вихревом аппарате с пористыми вращающимися распылителями // Химическая промышленность сегодня. 2009. №5. С.47-50.
11. ASABE [www.asabe.org](http://www.asabe.org)
12. <http://www.hypropumps.com/>
13. Краховецкий Н.Н., Лысов А.К., Захаренко В.А., Веретенников Ю.М., Никитин Н.В. Патент RU №2256322 С2. СПОСОБ ОБРАБОТКИ РАСТЕНИЙ И ШТАНГОВЫЙ ОПРЫСКИВАТЕЛЬ ДЛЯ ЕГО ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ. МПК<sup>7</sup> А01М7/00. Патентообладатели: Краховецкий Николай Николаевич, Лысов Анатолий Константинович (RU). Заявка: 2003110869/12, 16.04.2003. Опубликовано: 20.07.2005. Бюл. №20. 1 ил: 6 с.
14. Веретенников Ю.М., В.Г. Островский, А.В. Овсянкина, И.Я. Паремский, Э.Л. Мельников. Патент РФ на изобретение RU №2516581 С1. Способ оценки параметров факела распыла дисперсионно-способной технологической жидкости и установка для его осуществления. МПК<sup>7</sup> G01N 21/53 (2006.01) G01N 15/02 (2006.01). Патентообладатель: Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (RU). Заявка: 2012158028/28, 28.12.2012. Опубликовано: 20.05.2014. Бюл. № 14. 12 с. : 4 ил., 1 табл.
15. Веретенников Ю.М., И.Я. Паремский, А.В. Овсянкина. Новое научно-техническое направление в физике ДЖС // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2008. № 8. С. 41-44.
16. Веретенников Ю.М., И.Я. Паремский, А.В. Овсянкина. Новое определение показателей дисперсии, как следствие из уравнения неразрывности потока // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2010. № 8. С. 31-33.
17. Веретенников Ю.М., В.Г. Островский, П.Н. Антонюк, И.Я. Паремский, А.В. Овсянкина. Система СИ: система единиц измерений дисперсности // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2012. № 2. С. 27-29.
18. Монодисперсные Техногенные Аэрозоли / Ю.М. Веретенников, В.И. Долженко, И.В. Горбачев, М.С. Соколов, Ю.Я. Спиридонов, С.С. Санин, А.В. Овсянкина, Ю.Х. Шогенов,

С.С. Ладан, В.Г. Селиванов, Л.А. Марченко, В.И. Ягодкин, В.Г. Островский, И.Я. Паремский / Под ред. В.И. Долженко. М.: 2013, Россельхозакадемия. 46 с.

19. Веретенников Ю.М., А.В. Овсянкина, И.Я. Паремский, В.Г. Островский. Способ оценки параметров факела распыла ДЖС и установка для его осуществления. Доклад 25.11.2013 г. Слушания: Проблемы в Российской ассоциации содействия науке при Президенте РФ.

20. Веретенников Ю.М. и др. Глобализация – благо или роковой феномен нашей цивилизации? Доклад на 2–м Всероссийском форуме «Техногенные катастрофы: технологии предупреждения и ликвидации», Москва, 17.06.2014. 8 с.

21. Веретенников Ю.М. Управление размерами капель жидкого топлива и пестицидов – реальный фактор ресурсосбережения / Веретенников Ю.М., В.И. Долженко, И.В. Горбачев, М.С. Соколов, А.В. Овсянкина, Л.А. Марченко, И.Я. Паремский, В.Г. Островский. // Экологический вестник России. 2013. №1. С. 52-58.

22. Веретенников Ю.М. Пестициды – роковой феномен материальной действительности / Веретенников Ю.М., А.В. Овсянкина, Э.Л. Мельников, И.Я. Паремский. // Ремонт, восстановление, модернизация. 2013. №10. С.48-52.

23. Клочков А.В., Маркевич А.Е. Механизация химической защиты растений. Горки: БГСХА, 2008. 228 с.

24. Маркевич А.Е., Немировец Ю.Н. Основы эффективного применения пестицидов. Справочник в вопросах и ответах по механизации и контролю качества применения пестицидов в сельском хозяйстве. Горки: ООО «Ремком», 2004. 60 с.

25. Никитин Н.В., Спиридонов Ю.Я., Соколов М.С. и др. Использование современных опрыскивателей в адаптивной защите растений // Агрохимия. 2008. № 11. С. 51-59.

26. Никитин Н.В., Спиридонов Ю.Я., Шестаков В.Г. Научно-практические аспекты технологии применения современных гербицидов в растениеводстве. М.: Печатный город. 2010. 200 с.

27. Соколов М.С. Микрообъемное монодисперсное опрыскивание пестицидами // Химия в сельском хозяйстве. 1978. № 12. С. 3-10.

28. Соколов М.С. Монодисперсное микрообъемное опрыскивание – перспективный инновационный приём в защите растений. Доклад 25.11.2013 г. на слушаниях проблемы в Российской ассоциации содействия науке при президенте РФ // Агро XXI. 2014. № 4-6. С. 21-24.

29. Спиридонов Ю.Я., Шестаков В.Г. Развитие отечественной гербологии на современном этапе. М.: ВНИИФ. Печатный город, 2013. С. 191-248.

30. Proc. Symp. Held on 12-13 apr. 1978. Monogr. / Nottingham: Univ. Reading. BCPC. No 22. 1978. 275 pp.

31. Портал МГТУ им. Н.Э. Баумана. Dispersion. <http://www.bmstu.ru/mstu/ya-search/?searchid=2201446&text=dispersion&web=0>

32. Калинин В.П. Биогосистемотехника как гносеологическая основа управления экосистемами // Живые и биокосные системы. Декабрь 2012. Вып. 1. <http://www.jbks.ru/archive/issue-1/article-3>

33. Kalinitchenko V.P., A.A. Batukaev, A.A. Zarmaev, T.M. Minkina, V.F. Starcev, Z.S. Dikaev, A.S. Magomadov, V.U. Jusupov. Biogeosystem technique as a contribution to global food sustainability, 248th ACS National Meeting & Exposition. 13<sup>TH</sup> IUPAC INTERNATIONAL CONGRESS OF PESTICIDE CHEMISTRY. Crop, Environment, and Public Health Protection. Technologies for a Changing World. Co-sponsored by IUPAC and ACS-AGRO. August 10-14, 2014. San Francisco, California, USA. Abstracts. AGRO 143. P. 37.

34. Kalinitchenko Valery, Abdulmalik Batukaev, Vladimir Zinchenko, Ali Zarmaev, Ali Magomadov, Vladimir Chernenko, Viktor Startsev, Serojdin Bakoev, and Zaurbek Dikaev. Biogeosystem technique as a method to overcome the Biological and Environmental Hazards of modern Agricultural, Irrigational and Technological Activities, Geophysical Research Abstracts. Vol. 16, EGU2014-17015, 2014. EGU General Assembly 2014. DOI: Vol. 16, EGU2014-17015, Vienna, 2014.



**References:**

1. Glazko Valery I., Tatiana T. Galzko Conflicts of Biosphere and Agroecosystems // International Journal of Environmental Problems, Vol. (1), Is. 1, pp. 4-16, DOI: 10.13187/ijep.2015.1.4, 2015. (in Russian)
2. Batukaev, A.A., A.P. Endovitsky, T.M. Minkina, V.P. Kalinichenko, Z.S. Dikaev and S.N. Sushkova CHEMICAL EQUILIBRIUM OF SOIL SOLUTION IN STEPPE ZONE SOIL // American Journal of Agricultural and Biological Sciences 9 (3): 420-429, 2014. doi:10.3844/ajabssp.2014. 420. 429 Published Online 9 (3) 2014 <http://www.thescipub.com/ajabs.toc>
3. Kalinichenko Valery P., Viktor F. Starcev Recycling of Poultry Litter by Method of Biogeosystem Technique // International Journal of Environmental Problems, Vol. (1), Is. 1, pp. 17-48. DOI: 10.13187/ijep.2015.1.17, 2015. (in Russian)
4. Richard N. Berglund, Benjamin Y. H. Liu. Generation of monodisperse aerosol standards // Environ. Sci. Technol., 1973, 7 (2), pp 147–153 DOI: 10.1021/es60074a001
5. Bahman Asgharian, James T. Kelly and Earl W. Tewksbury. Respiratory Deposition and Inhalability of Monodisperse Aerosols in Long-Evans Rats // Toxicol. Sci. (2003) 71 (1): 104-111. doi: 10.1093/toxsci/71.1.104
6. Department of Pesticide Regulation. M E M O R A N D U M. HSM-08011. December 31, 2008. <http://www.cdpr.ca.gov/docs/whs/memo/hsm08011.pdf>
7. Graham Matthews, Roy Bateman, Paul Mille. Pesticide Application Methods. John Wiley & Sons, 2014. [https://books.google.ru/books?id=IEOMAgAAQBAJ&pg=PT580&lpg=PT580&dq=monodisperse+aerosols+for+agriculture+pesticides&source=bl&ots=y5b1Rb2Fec&sig=AXii2DcJY YiUFiIjBwf11\\_EIZ-M&hl=en&sa=X&ved=oCCYQ6AEwAWoVChMioKu75cTdyAIV 4t9yCh2Kggd3#v=onepage&q=monodisperse%20aerosols%20for%20agriculture%20pesticides&f=false](https://books.google.ru/books?id=IEOMAgAAQBAJ&pg=PT580&lpg=PT580&dq=monodisperse+aerosols+for+agriculture+pesticides&source=bl&ots=y5b1Rb2Fec&sig=AXii2DcJY YiUFiIjBwf11_EIZ-M&hl=en&sa=X&ved=oCCYQ6AEwAWoVChMioKu75cTdyAIV 4t9yCh2Kggd3#v=onepage&q=monodisperse%20aerosols%20for%20agriculture%20pesticides&f=false)
8. Controlled Particle, Droplet and Bubble Formation / Edited by D J Wedlock. Butterworth-Heinemann Ltd, 2004 [https://books.google.ru/books?id=QbGGAAAAQBAJ&pg=PA138&lpg=PA138&dq=monodisperse+aerosols+for+agriculture+pesticides&source=bl&ots=KUtIkGZimf&sig=p6VBNyp5OFF3tPMCaDr\\_V7Z7mT4&hl=en&sa=X&ved=oCEEQ6AEwB2oVChMioKu75cTdyAIV4t9yCh2Kggd3#v=onepage&q=monodisperse%20aerosols%20for%20agriculture%20pesticides&f=false](https://books.google.ru/books?id=QbGGAAAAQBAJ&pg=PA138&lpg=PA138&dq=monodisperse+aerosols+for+agriculture+pesticides&source=bl&ots=KUtIkGZimf&sig=p6VBNyp5OFF3tPMCaDr_V7Z7mT4&hl=en&sa=X&ved=oCEEQ6AEwB2oVChMioKu75cTdyAIV4t9yCh2Kggd3#v=onepage&q=monodisperse%20aerosols%20for%20agriculture%20pesticides&f=false)
9. Mount Gary A. A CRITICAL REVIEW OF ULTRALOW-VOLUME AEROSOLS OF INSECTICIDE APPLIED WITH VEHICLE-MOUNTED GENERATORS FOR ADULT MOSQUITO CONTROL // Journal of the American Mosquito Control Association, 14(3):305-334, 1998
10. Gumerova AH, AV Dmitriev, Nikolaev NA. Dynamics of the disperse phase in the vortex apparatus with porous rotating nozzles // Chemical industry today. 2009. №5. pp 47-50.
11. ASABE [www.asabe.org](http://www.asabe.org)
12. <http://www.hypropumps.com/>
13. Krahovetsky NN, Lysov AK, Zakharenko VA, Veretennikov YM, Nikitin NV. Patent RU №2256322 C2. Method of plats processing and sprayer for its implementation. IPC<sup>7</sup> A01M7/00. Patentee: Krahovetsky Nicholay, Lysov Anatoly. (RU). Application: 2003110869/12, 16.04.2003. Published: 20.07.2005. Bull. №20. iil: 6.
14. Veretennikov YM, VG Ostrovsky, AV Ovsyankina, IJ Paremskaya, EL Melnikov. Patent RU №2516581 C1. A method of estimating the parameters of the liquid's spray-precipitation process and installation for its realization. IPC<sup>7</sup> G01N 21/53 (2006.01) G01N 15/02 (2006.01). The patentee: Moscow State Technical University named after Bauman (RU). Application: 2012158028/28, 28.12.2012. Published: 05.20.2014. Bull. № 14. 12. 4 ill., 1 table.
15. Veretennikov YM, IJ Paremsky, AV Ovsyankina. The new scientific and technical direction in physics HPD // Tractors and agricultural machinery. 2008. № 8. pp 41-44.
16. Veretennikov YM, IJ Paremsky, AV Ovsyankina. The new definition of indicators of dispersion, as a consequence of the flow continuity equation // Tractors and agricultural machines. 2010. № 8. pp 31-33.
17. Veretennikov YM, VG Ostrovsky, PN Antoniuk, IJ Paremsky, AV Ovsyankina. SI system: the system of units of measurement dispersion // Tractors and agricultural machinery. 2012. № 2. pp 27-29.
18. Man-made monodisperse aerosols / Yu.M. Godwits, VI Dolzhenko, IV Gorbachev, MS Sokolov, UY Spiridonov, SS Sanin, AV Ovsyankina, YK Shogenov, SS Ladan, VG Selivanov, LA

Marchenko, VI Yagodkin, VG Ostrovsky, IJ Paremsky / Ed. VI Dolzhenko. M., 2013, Rosselkhozakademia. 46.

19. Veretennikov YM, AV Ovsyankina, IJ Paremsky, VG Ostrovsky. The method of estimating the parameters of the spray HPD and installation for its implementation. 11/25/2013 Report. Hearing: Problems in the Russian Association of the Advancement of Science under the President of the Russian Federation.

20. Veretennikov YM, et al. Globalization – a blessing or a fatal phenomenon of our civilization? 06.17.2014 Report. 2nd All-Russian Forum: Man-made disasters: prevention and elimination technology. M. 8 p.

21. Veretennikov YM. Managing the size of the drops of liquid fuels and pesticides - a real factor resource / Veretennikov YM, VI Dolzhenko IV, Gorbachev, MS Sokolov, AV Ovsyankina, LA Marchenko, IJ Paremskaya, VG Ostrovsky. // Ecological herald Russia. 2013. №1. S. 52-58.

22. Veretennikov YM. Pesticides – the fatal phenomenon of material reality / Veretennikov YM, AV Ovsyankina, EL Melnikov, IJ Paremskaya. P // Repair, restoration, modernization. 2013. №10. S.48-52.

23. Klotchkov AV Markevich AE Mechanization of chemical plant protection. Gorky: BSAA, 2008. 228 p.

24. Markevitch AE Nemirovets YN Fundamentals of effective use of pesticides. Guide Questions and Answers on mechanization and quality control of the use of pesticides in agriculture. Gorky: LLC "Remkom", 2004. 60 p.

25. Nikitin NV, Spiridonov YY, Mikhail Sokolov et al. The use of modern sprayers in adaptive plant protection // Agrochemistry. 2008. № 11. pp 51-59.

26. Nikitin NV Spiridonov YY, VG Shestakov. Scientific and practical aspects of application technology of modern herbicides in crop production. M.: Printing City, 2010. 200 p.

27. Sokolov MS Microvolume monodisperse pesticide's spray // Chemistry in agriculture. 1978. № 12. pp 3-10.

28. Sokolov MS Microvolume monodisperse spray – promising innovative technique in plant protection. 11/25/2013 Report. Hearing: Problems in the Russian Association of the Advancement of Science under the President of the Russian Federation // Agro XXI. 2014. № 4-6. pp 21-24.

29. Spiridonov YJ, VG Shestakov. Development of domestic Herbology at the present stage. M.: VNIIF. Printing City, 2013. pp 191-248.

30. Proc. Symp. Held on 12-13 apr. 1978. Monogr. / Nottingham: Univ. Reading. BCPC. No 22. 1978. 275 pp.

31. Portal MSTU named after NE Bauman. Dispersion. <http://www.bmstu.ru/mstu/ya-search/?searchid=2201446&text=dispersion&web=0>

32. Kalinichenko VP Biogeosystem technique as an epistemological basis of ecosystem management // Living and biocausal systems. December 2012. Vol. 1. <http://www.jbks.ru/archive/issue-1/article-3> (in russian)

33. Kalinitchenko V.P., A.A. Batukaev, A.A. Zarmaev, T.M. Minkina, V.F. Starcev, Z.S. Dikaev, A.S. Magomadov, V.U. Jusupov. Biogeosystem technique as a contribution to global food sustainability, 248th ACS National Meeting & Exposition. 13<sup>TH</sup> IUPAC INTERNATIONAL CONGRESS OF PESTICIDE CHEMISTRY. Crop, Environment, and Public Health Protection. Technologies for a Changing World. Co-sponsored by IUPAC and ACS-AGRO. August 10-14, 2014. San Francisco, California, USA. Abstracts. AGRO 143. P. 37.

34. Kalinitchenko Valery, Abdulmalik Batukaev, Vladimir Zinchenko, Ali Zarmaev, Ali Magomadov, Vladimir Chernenko, Viktor Startsev, Serodjin Bakoev, and Zaurbek Dikaev. Biogeosystem technique as a method to overcome the Biological and Environmental Hazards of modern Agricultural, Irrigational and Technological Activities, Geophysical Research Abstracts. Vol. 16, EGU2014-17015, 2014. EGU General Assembly 2014. DOI: Vol. 16, EGU2014-17015, Vienna, 2014.

УДК 631.348

## Монодисперсные техногенные аэрозоли – новое ресурсоэнергосберегающее научно-техническое направление

- <sup>1</sup> Михаил Сергеевич Соколов  
<sup>2</sup> Юрий Михайлович Веретенников  
<sup>3</sup> Валерий Григорьевич Островский  
<sup>4</sup> Игорь Ярославович Паремский  
<sup>5</sup> Юрий Яковлевич Спиридонов  
<sup>6</sup> Леонид Анатольевич Марченко  
<sup>7</sup> Алла Васильевна Овсянкина  
<sup>8</sup> Виктор Григорьевич Селиванов

<sup>1,5,7</sup> ВНИИ фитопатологии ФАНО, Российская Федерация

<sup>2,8</sup> ФГБНУ «Росинформагротех» МСХ РФ, Российская Федерация

<sup>3</sup> ОАО ЦНКБ, Российская Федерация

<sup>4</sup> МГТУ им. Н.Э.Баумана, Российская Федерация

<sup>6</sup> Всероссийский институт механизации, Клинский филиал, Российская Федерация

<sup>7</sup> ФАНО, Российская Федерация

<sup>1</sup> Доктор биологических наук, академик РАН, научный консультант ВНИИ фитопатологии ФАНО

<sup>2</sup> Лауреат Премии Правительства РФ

<sup>3</sup> Кандидат химических наук, зам. руководителя ОАО ЦНКБ

<sup>4</sup> Ст. преподаватель МГТУ им. Н.Э.Баумана

<sup>5</sup> Доктор биологических наук, академик РАН, зав. отделом ВНИИ фитопатологии ФАНО

<sup>6</sup> Кандидат технических наук, зам. руководителя предприятия

<sup>7</sup> Кандидат биологических наук, зам. руководителя отдела ФАНО

<sup>8</sup> Кандидат технических наук, начальник Центра испытаний сельхозтехники ФГБНУ

**Аннотация.** В статье на основе многолетних исследований обсуждаются особенности и преимущества монодисперсных аэрозолей пестицидов для защиты растений, а также монодисперсных аэрозолей углеводородных топлив для двигателей внутреннего сгорания. Предложено новое направление развития науки, техники, промышленных и сельскохозяйственных технологий – авторский проект «Монодисперсные Техногенные Аэрозоли». Обсуждены конкретные меры реализации проекта.

Предложен метод механико-газо-гидродинамического воздействия на факел распыляемой технологической жидкости дисковыми рабочими органами с целью сепарации капель. Режим работы устройства: при использовании гербицидов – размер капель в диапазоне 250-350 мкм, при использовании инсектицидов – 160-250 мкм, фунгицидов – 60-160 мкм.

Авторский патент RU №2516581 С1. Способ оценки параметров факела распыла дисперсионно-способной технологической жидкости и установка для его осуществления. МПК<sup>7</sup> G01N 21/53 (2006.01) G01N 15/02 (2006.01), 20.05.2014 открывает новое, ресурсоэнергосберегающее научно-техническое направление «Монодисперсные Техногенные Аэрозоли» (МТА)\*\*.

Предложен способ оценки параметров факела распыла дисперсионно-способной технологической жидкости посредством импульсного лазера, фоторегистратора, компьютера, что позволяет производить сортировку капель по стандартным классам размеров.

Важнейшим условием реализации проекта МАА является создание экспериментальной базы. Его задача: а) конструирование и технологическая оценка опытных образцов монодисперсных и полидисперсных распылительных устройств и механизмов,

\*\* (МТА)\* – авторская интерпретация нового направления развития науки, техники, промышленных и сельскохозяйственных технологий.

б) проектирование и конструирование специальных испытательных стендов. Эти устройства обеспечат стандартные условия для тестирования режимов работы разнообразных форсунок и распылителей, применяемых в различных сферах науки, техники и производства. Опытную базу планируется оснастить новейшими оптико-электронными и лазерными системами измерения, контроля и регулирования степени диспергирования испытуемых дисперсионно-жидкостных систем. Испытатель впервые получит возможность **«увидеть, измерить, создать, стандартизировать и воспроизвести»** субстанцию факела капель аэрозоля, генерируемого распылителем.

Другой, не менее важный приоритет проекта МАА – создание современной машиностроительной базы для опытно-серийного производства монодисперсных мало- и микрообъемных камерных и полевых опрыскивателей. Как показали многолетние исследования ВНИИ фитопатологии, монодисперсное мало- и микрообъемное опрыскивание базируется на использовании обычных, либо даже более дешевых препаративных форм пестицидов. Благодаря существенному снижению норм расхода рабочей жидкости значительно уменьшается масса опрыскивающего агрегата (и тем самым, в процессе его работы снижается уплотнение почвы), повышается производительность труда и, как минимум, обеспечивается 25 % снижение дозы препарата за счет исключения потерь рабочей жидкости в форме неэффективных мелких и крупных капель. Отмечен существенный рост показателей рентабельности защитных мероприятий: снижение при опрыскивании нормы расхода рабочей жидкости с 200 до 10 л/га повышает производительность труда в 2 раза, за счёт этого прямые затраты только на обработку единицы посева (без учета экономии на снижении расхода пестицида) сокращаются в 3 раза.

Опрыскиватели с регулируемой дисперсностью, позволяющие управлять параметрами распыления рабочей жидкости непосредственно в полевых условиях, в полной мере соответствует требованиям международного критерия экологической безопасности распыления рабочих жидкостей – controlled drop application (CDA). Однако пока что их полидисперсное распыление повсеместно причиняет экологический вред и экономический ущерб. И всё это – в гигантских масштабах! Справиться с этой проблемой можно, если сделать распыление рабочих жидкостей *монодисперсным и управляемым*.

**Ключевые слова:** монодисперсные аэрозоли, пестицид, углеводородное топливо, диспергирование капель, импульсный лазер, проект "Монодисперсные антропогенные аэрозоли".