

№15 (110) 2011  
Выпуск 16

НАУЧНЫЙ РЕЦЕНЗИРУЕМЫЙ ЖУРНАЛ

Основан в 1995 г.

**Журнал входит  
в Перечень ведущих рецензируемых  
научных журналов и изданий,  
выпускаемых в Российской Федерации,  
в которых рекомендуется публикация  
основных результатов диссертаций  
на соискание ученых степеней  
доктора и кандидата наук**

**Учредитель:**  
Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего про-  
фессионального образования «Белгород-  
ский государственный национальный иссле-  
довательский университет» (НИУ «БелГУ»)

**Издатель:**  
НИУ «БелГУ»,  
Издательско-полиграфический комплекс  
НИУ «БелГУ»

Журнал зарегистрирован  
в Федеральной службе по надзору за соблюде-  
нием законодательства  
в сфере массовых коммуникаций  
и охраны культурного наследия  
Свидетельство о регистрации средства массовой  
информации ПИ № ФС 77-21121 от 19 мая 2005 г.

**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ  
ЖУРНАЛА**

Главный редактор

**Л.Я. Дятченко**,  
ректор НИУ «БелГУ», доктор социоло-  
гических наук, профессор

Зам. главного редактора

**В.В. Соколев**,  
проректор по научной работе НИУ  
«БелГУ», кандидат педагогических наук,  
доцент

Ответственные секретари:

**В.М. Московкин**,  
доктор географических наук, профессор  
кафедры мировой экономики  
НИУ «БелГУ»

**Е.Н. Кролевецкая**,  
кандидат педагогических наук,  
доцент кафедры педагогики  
НИУ «БелГУ»

**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ  
СЕРИИ ЖУРНАЛА**

Главный редактор серии

**А.В. Присный**,  
доктор биологических наук, доцент  
(НИУ «БелГУ»)

Заместители главного редактора:

**О.Е. Лебедева**,  
доктор химических наук, профессор  
(НИУ «БелГУ»)

**А.Г. Корнилов**,  
доктор географических наук, профессор  
(НИУ «БелГУ»)

Ответственный секретарь

**Ю.Н. Куркина**,  
кандидат сельскохозяйственных наук,  
доцент (НИУ «БелГУ»)

**НАУЧНЫЕ ВЕДОМОСТИ**  
**Белгородского государственного университета**  
**Естественные науки**

**Belgorod State University**  
**Scientific Bulletin**  
**Natural sciences**

## СОДЕРЖАНИЕ

### БИОЛОГИЯ

Полевая устойчивость сортов яблони к парше листьев в условиях ботанического сада Белгородского государственного национального исследовательского университета. **Е.Н. Дунаева, А.В. Дунаев 5**

Сукцессия растительных ассоциаций на поселениях общественной полевки (*Microtus socialis* Pall.) на молодых территориях Волго-Уральского междуречья. **Бухарева О.А., Быков А.В. 10**

Трофическая структура сообщества макрозообентоса водоемов в 30-км зоне влияния Лебединского ГОКа. **А.Е. Силина 19**

Показатели половой структуры насекомых в системе экологического мониторинга (на примере природных популяций клопа-солдатика (*Pyrrhocoris apterus* L.)). **И.В. Батлуцкая, О.А. Маканина, Л.В. Зимовина 32**

Анализ генетической изменчивости популяций наземного моллюска *Bradybaena fruticum* Müll. с использованием RAPD- и ISSR- маркеров. **Э.А. Снегин 37**

Современная степень изученности каспийских кефалей по результатам исследовательских уловов 2007-2010 гг. **К.М. Рустамова 44**

Функциональная структура микроценозов гнезд синантропных птиц в условиях Южного Приморья. **Н.М. Белоусова 48**

Микроструктурные особенности биологически активных точек собак. **А.А. Горбачева 55**

Влияние кальциевой нагрузки на функциональные свойства лейкоцитов в опытах *in vivo* и *in vitro*. **С.Г. Михайлова, Н.А. Павлов 59**

Возрастные и половые особенности изменений геометрического профиля и жесткости мембран лейкоцитов. **В.Н. Тукин, М.З. Федорова 64**

Сезонные колебания показателей фагоцитоза эритроцитов и полиморфноядерных лейкоцитов позвоночных животных. **С.Д. Чернявских, М.З. Федорова, Е.В. Масленникова 68**

Определение мембранной проницаемости для воды у двухклеточного эмбриона мыши. **В.Н. Погорелова, Е.В. Корниенко, М.А. Погорелова, А.И. Панаит, И.В. Маликов, А.Г. Погорелов 74**

Экотоксикологическое исследование углеродного наноструктурного материала. **А.А. Гусев, А.В. Емельянов, С.В. Шутова, А.Г. Ткачев, А.Ю. Годымчук, Д.В. Кузнецов 80**

### ХИМИЯ

Особенности оценки ионообменных характеристик глин. **А.Н. Чулков, В.И. Дейнека, Л.А. Дейнека 88**

ИК-спектроскопия в изучении состава композитов, полученных из растительного и животного сырья. **Н.Г. Габрук, И.И. Олейникова, А.В. Метелев, А.В. Давиденко, Хуинь Тхуи Тхунг Чанг 95**

Члены редколлегии:

**Л.Н. Белятинская**, доктор химических наук, профессор (НИУ «БелГУ»)

**И.В. Батлуцкая**, доктор биологических наук, доцент (НИУ «БелГУ»)

**А.И. Везенцев**, доктор технических наук, профессор (НИУ «БелГУ»)

**Р. Виттиг**, доктор, профессор (Университет им. И.В. Гете, Франкфурт-на-Майне)

**А.Ф. Колчанов**, кандидат биологических наук, профессор (НИУ «БелГУ»)

**Ф.Н. Лисецкий**, доктор географических наук, профессор (НИУ «БелГУ»)

**С.В. Лукин**, доктор географических наук, профессор (НИУ «БелГУ»)

**А.Н. Петин**, доктор географических наук, профессор (НИУ «БелГУ»)

**С.В. Сергеев**, доктор технических наук, профессор (НИУ «БелГУ»)

**В.Н. Сорокопудов**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор (НИУ «БелГУ»)

**В.К. Тохтарь**, доктор биологических наук, старший научный сотрудник (НИУ «БелГУ»)

**М.З. Федорова**, доктор биологических наук, профессор (НИУ «БелГУ»)

**Ю.Г. Чендев**, доктор географических наук, профессор (НИУ «БелГУ»)

**В.С. Шилова**, доктор педагогических наук, профессор (НИУ «БелГУ»)

Подготовила к выпуску  
*Т.Г. Лагутина*

Оригинал-макет А.В. Присный,  
*Н.Ю. Пыленко*

E-mail: [prisniy@bsu.edu.ru](mailto:prisniy@bsu.edu.ru)

Подписано в печать 30.09.2011

Формат 60×84/8

Гарнитура Georgia, Imprint

Усл. п. л. 26,73

Тираж 1000 экз.

Заказ 189

Подписные индексы в каталоге агентства :  
«Роспечать» – 81466,  
в объединенном каталоге  
«Пресса России» – 39723

Оригинал-макет тиражирован  
в Издательско-полиграфическом комплексе  
НИУ «БелГУ»  
Адрес: 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85

Синтез производных пирроло[3,2,1-de]акридин-6-она с участием слабых электрофилов. **Т.М. Алябьева 99**

Адсорбция формальдегида из водного раствора на природных и модифицированных минеральных сорбентах. **О.Ю. Стрельникова, Л.И. Бельчинская, Н.А. Ходосова 103**

#### НАУКИ О ЗЕМЛЕ

Системная геотектоническая концепция: основы формирования и главные выводы. **С.Я. Сергин 109**

Методика геолого-структурного обеспечения открытой разработки месторождений железистых кварцитов. **В.А. Дунаев, И.М. Игнатенко 121**

Исследование прочностных и деформационных характеристик образцов закладочных композитов на основе горно-металлургических отходов. **Е.А. Ермолович, К.А. Изместьев, А.В. Овчинников 132**

Антропогенное накопление химических элементов в педолитоседиментах древних городов европейской России.

**А.В. Долгих 135**

Оценка скорости минерализации органического вещества основных типов почв европейской части России при различных температурных режимах. **В.В. Каганов, И.Н. Курганова 145**

Оценка гумусированности почв путем обработки их цифровых фотоизображений. **С.Ю. Булыгин, Д.И. Бидолах, Ф.Н. Лисецкий 154**

Микрозональные особенности профильного и пространственного распределения содержания гумуса в почвах склона. **Л.Г. Смирнова, Ю.Г. Чендев, Л.Л. Новых, П.А. Украинский, И.Е. Новых 160**

Микроморфологические особенности органического вещества при агрогенной трансформации почв лесостепной зоны. **Н.С. Кухарук, Ю.Г. Чендев, А.Н. Петин 168**

Запасы продуктивной влаги под агроценозами Белгородской области. **О.В. Крымская, М.Г. Лебедева 180**

Водный режим рек Белгородской области в условиях аномальной жары 2010 года. **М.Г. Лебедева, Г.В. Клубкова, С.Н. Колмыков 186**

Особенности фенольного загрязнения рек Курской и Белгородской областей. **М.В. Кумани, Ю.А. Соловьева, А.Г. Корнилов 193**

Социально-экологические проблемы крупных городов и пути их решения. **Е.А. Бобров 199**

Современные геоморфологические процессы на территории Белгородской области и их антропогенная активизация. **В.А. Хрисанов, Е.А. Бахаева 209**

Агроландшафтные исследования: теория и практика. **А.А. Юртаев 217**

Сведения об авторах **222**

Информация для авторов **225**

№15 (110) 2011  
Issue 16

SCIENTIFIC PEER-REVIEWED JOURNAL

Founded in 1995

The Journal is included into the list of the leading peer-reviewed journals and publications coming out in the Russian Federation that are recommended for publishing key results of the theses for Doktor and Kandidat degree-seekers.

**Founder:**

Federal state autonomous educational establishment of higher professional education «Belgorod National Research University»

**Publisher:**

Belgorod National Research University.  
Belgorod National Research University Press

The journal is registered in Federal service of control over law compliance in the sphere of mass media and protection of cultural heritage

Certificate of registration of mass media ПИ № ФС 77-21121 May 19, 2005.

**EDITORIAL BOARD OF JOURNAL**

Editor-in-chief

**L.J. Djatchenko,**

Rector of Belgorod National Research University, Doctor of sociological sciences, Professor

Deputy editor-in-chief

**V.V. Sokorev,**

Vice-rector for scientific research of Belgorod National Research University, Candidate of pedagogical sciences, Associate professor

Assistant Editors:

**V.M. Moskovkin,**

Doctor of geographical sciences, Professor of world economy department Belgorod National Research University

**E.N. Krolevetskaya,**

Candidate of pedagogical sciences, Associate professor of Pedagogics department of Belgorod National Research University

**EDITORIAL BOARD OF JOURNAL SERIES**

Chief editor

**A.V. Prisky,**

Doctor of biological sciences, Professor (Belgorod National Research University)

Deputies of chief editor:

**O.E. Lebedeva,**

Doctor of chemical sciences, Professor (Belgorod National Research University)

**A.G. Kornilov,**

Doctor of geographical sciences, Professor (Belgorod National Research University)

**Belgorod State University  
Scientific Bulletin**

**Natural sciences**

**НАУЧНЫЕ ВЕДОМОСТИ**

**Белгородского государственного университета**

**Естественные науки**

**CONTENTS**

**BIOLOGY**

Field Stability of Grades of the Apple-Tree to Apple Scab Leaves in the Conditions of the Botanical Garden of the Belgorod State National Research University. **E.N. Dunaeva, A.V. Dunaev 5**

The Succession of Plant Associatiois in the Social Voles (*Microtus socialis* Pall.) Settlements in Young Areas of the Volga-Ural Interfluve. **O.A. Bukhareva A.V. Bykov 10**

Trophic Frame of Assemblages of the Macrozoobenthos of Reservoirs in 30-km Region of Lebedinsky GOC Influence. **A.E. Silina 19**

Indicators of Sexual Structure of Insects in Ecological Monitoring System (on the Example of Natural Populations of the Red Soldier Bug *Pyrrhocoris apterus* L.)). **I.V. Batlutskaya, O.A. Makanina, L.V. Zimovina 32**

Analysis of the Genetic Variability of Populations of Land Snail *Bradybaena fruticum* Müll. using RAPD and ISSR Markers. **E.A. Snegin 37**

Modern Level of Study of the Caspian Mulletts by Results of the Research Catches in 2007-2010. **K.M. Rustamova 44**

Functional Structure of Microcoenosis of Nests of the Synanthropic Birds in the Conditions of Southern Primorye. **N.M. Belousova 48**

Microstructural Features of Biologically Active Points of Dogs. **A.A. Gorbacheva 55**

Influence of Calcium Loading on Functional Properties of Leukocytes in the *in vivo* and *in vitro* Experiments. **S.G. Mihailova, N.A. Pavlov 59**

Age Features of Changes in Geometrical Structure and Rigidity of Leukocyte Membranes of Men and Women. **V.N. Tugin M.Z. Fedorova 64**

Seasonal Fluctuations of Phagocytosis Parameters of Erythrocytes and Polymorphnuclear Leucocytes of Vertebrates. **S.D. Chernyavskikh, M.Z. Fedorova, E.V. Maslennikova 68**

Membrane Hydraulic Permeability for Two-Cell Mouse Embryo. **V.N. Pogorelova, E.V. Kornienko, M.A. Pogorelova, A.I. Panait, I.V. Malikov, A.G. Pogorelov 74**

Ecotoxicological research of carbon nanomaterial. **A.A. Gusev, A.V. Emeljanov, S.V. Shutova, A.G. Tkachev, A.J. Godymchuk, D.V. Kuznetsov 80**

**CHEMISTRY**

Particularities of Clay Ion-Exchange Properties Estimation. **A.N. Chulakov, V.I. Deineka, L.A. Deineka 88**

IR-Spectroscopy in Studying of Structure of Enterosorbents, Received from Plant and Animal Raw Materials. **N.G. Gabruk, I.I. Oleynikova, A.V. Metelev, A.V. Davidenko, Huin Thi Thui Chang 95**

Synthesis of Pirrolo[3,2,1-de]acridin-6-on Derivatives with the Participation of Weak Electrophiles. **T.M. Alyabieva 99**

Responsible secretary:

**Yu.N. Kurkina**,  
Candidate of agricultural sciences, Associate professor (Belgorod National Research University)

Members of editorial board:

**L.N. Balyatinskaya**, Doctor of chemical sciences, Professor (Belgorod National Research University)

**I.V. Batlutskaya**, Doctor of biological sciences, Professor (Belgorod National Research University)

**A.I. Vezentsev**, Doctor of technical sciences, Professor (Belgorod National Research University)

**Rudiger Wittig**, Doctor, Professor (I.V. Gete University, Frankfurt-on-Mine)

**A.F. Kolchanov**, Candidate of biological sciences, Professor (Belgorod National Research University)

**F.N. Lisetskiy**, Doctor of geographical sciences, Professor (Belgorod National Research University)

**S.V. Lukin**, Doctor of geographical sciences, Professor (Belgorod National Research University)

**A.N. Petin**, Doctor of geographical sciences, Professor (Belgorod State University)

**S.V. Sergeev**, Doctor of technical sciences, Professor (Belgorod National Research University)

**V.N. Sorokopudov**, Doctor of agricultural sciences, Professor (Belgorod National Research University)

**V.K. Tokhtar**, Doctor of biological sciences, Senior scientific employee (Belgorod National Research University)

**M.Z. Fiodorova**, Doctor of biological sciences, Professor (Belgorod National Research University)

**Yu.G. Chendev**, Doctor of geographical sciences, Professor (Belgorod National Research University)

**V.S. Shilova**, Doctor of pedagogical sciences, Professor (Belgorod National Research University)

Prepared for publication copy-editor

*T.G. Lagutina*

Page layout by *A.V. Prismaniy*

*N.Y. Pylenko*

E-mail: *prismaniy@bsu.edu.ru*

Passed for printing 30.09.2011

Format 60×84/8

Typeface Georgia, Impact

Printer's sheets 26.73

Circulation 1000 copies

Order 189

Subscription reference in Rospechat'

agency catalogue – 81466,

In joint catalogue Pressa Rossii – 39723

Dummy layout is replicated

at Belgorod State University Publishing House

Address: 85, Pobedy str., Belgorod, Russia, 308015

Adsorption of Formaldehyde from Aqueous Solution on Natural and Modified Mineral Sorbents. **O.Yu. Strelnikova L.I. Belchinskaya N.A. Khodosova 103**

## EARTH SCIENCES

Systemic Geotectonic Conception: Basis of Formation and Main Conclusions. **S.Ya. Sergin 109**

Technique of Geologo-Structural Maintenance of Open-Pits of Developing Deposits of Ferros Quartzites. **V.A. Dunaev, I.M. Ignatenko 121**

The Study of Strength and Deformation Characteristics of the Backfill Mixture Samples Based on Mining and Metallurgical Wastes.

**E.A. Ermolovich, K.A. Izmestyev, A.V. Ovchinnikov 132**

Anthropogenic Accumulation of Chemical Elements in Urbosediments of the Ancient Cities of European Russia. **A.V. Dolgikh 135**

Evaluation of Organic Matter Mineralization Rate in Main Soil Types of Russian European Part under Different Temperature Regimes.

**V.V. Kaganov, I.N. Kurganova 145**

Evaluation of Soil Humus Content by Treatment of Their Digital Photographic Images. **S.Y. Bulygin, D.I. Bidolah, F.N. Lisetskiy 154**

The Microzonal Features of the Profile and the Spatial Distribution of the Humus Content in the Soils of the Slope. **L.G. Smirnova Y.G. Chendev L.L. Novych P.A. Ukrainisky I.E. Novych 160**

Micromorphological Features of Organic Matter after Agrogeogenic Transformation of the Soils in Forest-Steppe Zone. **N.S. Kukharuk, Yu.G. Chendev, A.N. Petin 168**

Stocks of the Productive Moisture under the Agrocoenoses in the Belgorod Region. **O.V. Krymskaya, M.G. Lebedeva 180**

The hydrology regime of the rivers of the Belgorod region in the anomaly heat 2010. **M.G. Lebedeva, G.V. Klubkova, S.N. Kolmykov 186**

Peculiarities of Phenol Contamination of the Rivers of Kursk and Belgorod Regions. **M.V. Kumani, Yu.A. Solovyeva, A.G. Kornilov 193**

Social-Ecological Problems of Large Cities and Way of Their Solution.

**E.A. Bobrov 199**

Modern geomorphological processes in Belgorod region and their anthropogenic activation. **V.A. Khrisanov, E.A. Bakhaeva 209**

Agrolandscape Research: Theory and Practice. **A.A. Yurtaev 217**

Information about Authors **222**

Information for Authors **225**



## БИОЛОГИЯ

УДК 632.3:634.72.3.1

### ПОЛЕВАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ СОРТОВ ЯБЛОНИ К ПАРШЕ ЛИСТЬЕВ В УСЛОВИЯХ БОТАНИЧЕСКОГО САДА БЕЛГОРОДСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО НАЦИОНАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

**Е.Н. Дунаева**  
**А.В. Дунаев**

Белгородский государственный  
национальный исследовательский университет,  
Россия, 308015, г. Белгород,  
ул. Победы, 85

E-mail: kiryushenko@bsu.edu.ru

В статье представлены результаты трехлетних (2008-2010 гг.) исследований по экологии возбудителя парши листьев яблони и устойчивости к парше листьев у разных сортов яблони, имеющих в коллекции ботанического сада Белгородского государственного национального исследовательского университета. Выделены устойчивые сорта, перспективные для выращивания в условиях Белгородской области.

Ключевые слова: устойчивость, парша листьев яблони, устойчивый сорт.

#### Введение

Среди болезней культивируемых сортов яблони наиболее вредоносна парша (возбудитель *Venturia inaequalis* (Cooke) Wint), поражающая листья и плоды. Парша – заболевание, причиняющее яблоне наибольший вред и приводящее к потере 30-40% урожая. Вред, причиняемый паршой яблони, связан, прежде всего, с поражением листьев. У больных листьев значительно увеличивается транспирация. Большая потеря влаги приводит к замедлению фотосинтеза, подавлению роста побегов и завязей. Непосредственная причина потерь урожая – опадание большинства завязей и поражение оставшихся на дереве плодов. На борьбу с этим заболеванием расходуется до 20% [1], а по некоторым источникам [2] – до 50% от всего количества применяемых в садах пестицидов.

Выявлению обладающих высокими товарно-потребительскими качествами и, одновременно, устойчивых к парше в условиях г. Белгорода и Белгородской области сортов яблони, и посвящено настоящее исследование.

#### Объекты и методы исследования

Исследования проводились в 2008-2010 гг. Объектами исследования являлись сорта вида *Malus domestica* М., имеющиеся в коллекции Ботанического сада Белгородского государственного национального исследовательского университета. Ботанический сад расположен в черте г. Белгород в правобережной нагорной части р. Везелка. Высота над уровнем моря 150-160 м. Почвы выщелоченный и типичный черноземы на лессовидных суглинках.

Коллекционный плодовой сад заложен в 2002 г. посадкой в открытый грунт привитых саженцев, привезенных из Орловского, Мичуринского и Московского НИИ селекции плодовых культур. Многие сорта были впервые интродуцированы в Белгородской области (именно на территории Ботанического сада). В настоящее время коллекция насчитывается 131 сорт, включая 6 сортов колонновидных яблонь и 25 сортов на слаборослых клоновых подвоях.



Оценка сортов на устойчивость к парше проводилась в полевых условиях согласно программе и методике селекции плодовых, ягодных и орехоплодных культур [3]. Следует отметить, что в годы наблюдений обработок пестицидами против парши яблони не проводилось.

### Результаты и их обсуждение

Особенности экология возбудителя парши листьев яблони. Возбудитель парши листьев (и плодов) яблони – патогенный грибной организм, ведущий как сапрофитный (сумчатая стадия *Venturia inaequalis* (Ske.)) так и паразитический (несовершенная стадия *Fusicladium dendriticum* (Wallr) Fuck) образ жизни.

Возбудитель болезни зимует на пораженных опавших листьях. Весной на них образуется сумчатая стадия в виде мелких черные бугорков – псевдотециев (характерных плодовых тел), внутри которых созревают аскоспоры (сумкоспоры).

После установления достаточно теплой и относительно влажной погоды (для условий г. Белгорода это вторая-третья декады апреля) псевдотеции раскрываются и созревшие аскоспоры рассеиваются в воздухе, оседая и на молодых листьях яблони.

При наличии влаги на листьях аскоспоры прорастают, преодолевая тонкий покровный эпителий еще не сформировавшихся листьев. После заражения между эпителием и листовым эпидермисом листа развивается мицелий гриба. Далее происходит разрыв эпителия под давлением развившегося мицелия и формируются многочисленные конидиоспоры на коротких конидиеносцах (несовершенная стадия). В это время (для условий г. Белгорода это первая-вторая декады мая) обычно и обнаруживаются внешние признаки заболевания. На больных листьях сначала появляются просвечивающиеся, как бы масляные, затем сереющие пятна с характерным зеленовато-бурым (темно-оливковым) бархатистым налетом конидиального спороношения гриба. На этом заканчивается первый инфекционный цикл, длящийся в среднем около двух недель. Далее начинается прерывистый цикл вторичных заражений посредством вновь развивающихся конидиоспор. Как правило, уже после третьего вторичного заражения (для условий г. Белгорода это вторая половина июня), поражение паршой может достигать максимальной интенсивности. Дальнейшее развитие болезни зависит от атмосферной влажности. Летняя засуха подавляет развитие парши: конидиоспоры быстро теряют способность к прорастанию и заражению листьев. Полное развитие паразитической стадии возбудителя парши заканчивается к концу вегетации яблони, когда листья опадают и гриб снова переходит к сапрофитному образу жизни.

Особенности развития парши листьев яблони в годы наблюдений. Для развития парши листьев яблони важное значение имеют погодные условия – температура и влажность воздуха – особенно в первую половину вегетационного периода [4]. В таблице 1 приводятся значения показателей погодных условий 2008-2010 гг. по месяцам для г. Белгорода, на фоне которых происходило развитие парши на листьях, а также – средние многолетние показатели. Кроме среднемесячных температур и количества осадков по месяцам мы приводим значения гидротермического коэффициента (ГТК). ГТК, как показатель соотношения атмосферных влаги и тепла, характеризует увлажненность воздуха.

По литературным данным [4] первичное заражение листьев яблони происходит при температуре около 8°C и достаточной влажности воздуха. Такие погодные условия наблюдались в апреле-мае 2008-2009 гг. (см. табл. 1). Первые проявления болезни на листьях были отмечены: в 2008 г. – 8 мая, в 2009 г. – 14 мая. В засушливом 2010 г. (см. табл. 1) поражение проявилось позднее – 19 мая.

По литературным данным [4] высокая влажность (ГТК>1.6) при температуре воздуха 16°C и выше наиболее благоприятны для развития парши. По нашим наблюдениям благоприятные условия для развития парши создаются при ГТК>1.2 и температуре воздуха около 10-15°C и выше. Погодные условия мая в 2008-2009 гг. (см. табл. 1) были благоприятны для первичного развития болезни и вторичного заражения листьев посредством конидиоспор. Максимальное проявление болезни в 2008-2009 гг.

отмечалось в третьей декаде июня; в 2010 г., в связи с засушливой погодой, после 15 июля дальнейшего развития парши на листьях яблони не наблюдалось.

Таблица 1

**Метеоданные 2008-2010 гг. (среднемесячная температура воздуха, месячное количество осадков, ГТК) и средние многолетние значения по г. Белгороду**

Год	Метео-показатель	Месяц					
		апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь
2008	Т, °С	10.8	13.1	17.7	20.9	21.6	13.8
	Р, мм	57.1	56.9	35.6	43.7	34.0	46.0
	ГТК	1.76	1.40	0.67	0.67	0.51	1.11
2009	Т, °С	8.3	14.3	20.9	21.4	17.7	-
	Р, мм	3.9	55.4	19.4	42.1	9.1	-
	ГТК	0.16	1.25	0.31	0.63	0.16	-
2010	Т, °С	10.8	18.5	22.5	26.5	26.2	14.7
	Р, мм	3.0	25.8	29.2	58.0	15.0	73.2
	ГТК	0.09	0.45	0.43	0.71	0.18	1.66
Средние многолетние значения	Т, °С	7.5	14.6	17.9	19.9	18.7	12.9
	Р, мм	41.0	47.0	63.0	69.0	56.0	40.0
	ГТК	1.82	1.04	1.17	1.12	0.97	1.03

Полевая устойчивость сортов яблони к парше листьев. Как показали наши исследования в 2008-2010 гг. паршой листьев не поражались (поражение 0.0 балла) следующие сорта яблони: Зарянка, Солнышко, Рождественское, Кандиль Орловский, Свежесть, Орловим, Афродита, Имрус, Курнаковское, Чистотел, Орловский пионер, Орловское полесье, Юбилей Москвы, Болотовское, Память Исаеву, Первинка, Старт, Здоровье. Кроме того, в 2010 г., очень засушливом (см. табл. 1) и неблагоприятном для развития парши, признаков поражения не наблюдалось у следующих сортов: Вита, Память Семакину, Юбиляр, Царский Щип, Китайка Долго, Орлинка, Китайка золотистая.

В 2008-2009 гг. слабое поражение (не более 1.0 балла) наблюдалось у таких сортов как Вита, Память Семакину, Юбиляр, Царский Щип, Китайка Долго, Орлинка, Китайка золотистая (подчеркнем, что эти сорта в сезон 2010 г. проявили более высокую устойчивость, см. выше), Алтайский Голубок, Ветеран, Медуница, Слава Мичуринска, Трофимовское. У сортов Алтайский Голубок, Ветеран, Медуница, Слава Мичуринска, Трофимовское в 2010 г. также наблюдалось поражение не более 1.0 балла. Кроме того, в 2010 г. поражение не более 1.0 балла проявилось у следующих сортов: Желанное, Зимнее Будаговского, Старк Эрлиэст, Надежное, Антоновка золотистая, Осеннее полосатое, Антоновка обыкновенная, Китайка 535, Память воину, Каракозовское, Боровинка, Мелба урожайная, Услада, Антоновка десертная, Аркад желтый.

В 2008-2009 гг. поражение паршой 1.1-2.0 балла было отмечено у сортов: Желанное, Зимнее Будаговского, Старк Эрлиэст, Надежное, Антоновка золотистая (подчеркнем, что эти сорта в сезон 2010 г. проявили более высокую устойчивость, см. выше), Звездочка, Коричное полосатое, Красавица Москвы, Мечта, Московское зимнее, Зимняя красавица, Мартовское, Бельфлер-Китайка, Вишневое, Жигулевское, Китайка апортовая, Куликовское, Спартан. У сортов Звездочка, Коричное полосатое, Красавица Москвы, Мечта, Московское зимнее, Зимняя красавица, Мартовское, Бельфлер-Китайка, Вишневое, Жигулевское, Китайка апортовая, Куликовское, Спартан в 2010 г. также наблюдалось поражение 1.1-2.0 балла. Кроме того, в 2010 г. поражение 1.1-2.0 балла проявилось на следующих сортах: Орлик, Синап Орловский, Мелба, Красное раннее, Апорт кроваво-красный, Катерен, Папировка Сузова, Старккримсон, Утренняя звезда, Суйслепское, Урожайное Сузова, Мантет, Ренет Отцовский, Папировка, Чилини, Россошанское багряное, Квинти, Находка Лебедянского, Россошанское лежкое,



Апрельское, Коричное новое, Лобо, Память Ульянищева, Первый салют, Росса, Грушевка Московская, Совхозное, Пасхальное, Крупное Ртищева, Лимонка крупная.

В 2008-2009 гг. поражение паршой 2.1-3.0 балла было отмечено у сортов: Осеннее полосатое, Антоновка обыкновенная, Китайка 535, Память воину, Каракозовское, Боровинка, Мелба урожайная, Услада, Антоновка десертная, Аркад желтый (подчеркнем, что эти сорта в сезон 2010 гг. проявили более высокую устойчивость, см. выше), Орлик, Синап Орловский, Мелба, Красное раннее, Апорт кроваво-красный, Катерен, Папировка Сузова, Старккрасимсон, Утренняя звезда, Суйслепское, Урожайное Сузова, Мантет, Ренет Отцовский, Папировка, Чиллини, Россошанское багряное, Квинти, Находка Лебедянского, Россошанское лежкое, Апрельское, Коричное новое, Лобо, Память Ульянищева, Первый салют, Росса, Грушевка Московская, Совхозное, Пасхальное, Крупное Ртищева, Лимонка крупная (подчеркнем, что эти сорта в сезон 2010 г. проявили более высокую устойчивость, см. выше), Ртищевское, Уэлси, Налив белый, Раннее алое, Жуковское, Серуэл, Кальвиль снежный, Мекинтош, Мезенское, Северная заря, Анис алый, Братчуд. В засушливом и неблагоприятном для развития парши 2010 г. поражение 2.1-3.0 балла было отмечено у сортов: Ртищевское, Уэлси, Налив белый, Раннее алое, Жуковское, Серуэл, Кальвиль снежный, Мекинтош, Мезенское, Северная заря, Анис алый, Братчуд.

Таким образом, на основании проведенных нами исследований можно выделить группы сортов яблони, проявляющих высокую, относительно высокую, среднюю, относительно низкую и низкую устойчивость к парше листьев в условиях г. Белгорода. Группа высоко устойчивых сортов: Зарянка, Солнышко, Рождественское, Кандиль Орловский, Свежесть, Орловим, Афродита, Имрус, Курнаковское, Чистотел, Орловский пионер, Орловское полесье, Юбилей Москвы, Болотовское, Память Исаеву, Первинка, Старт, Здоровье.

Группа относительно высоко устойчивых сортов: Вита, Память Семакину, Юбилляр, Царский Щип, Китайка Долго, Орлинка, Китайка золотистая, Алтайский Голубок, Ветеран, Медуница, Слава Мичуринска, Трофимовское.

Группа среднеустойчивых сортов: Желанное, Зимнее Будаговского, Старк Эрлиэст, Надежное, Антоновка золотистая, Осеннее полосатое, Антоновка обыкновенная, Китайка 535, Память воину, Каракозовское, Боровинка, Мелба урожайная, Услада, Антоновка десертная, Аркад желтый, Желанное, Зимнее Будаговского, Старк Эрлиэст, Надежное, Антоновка золотистая, Звездочка, Коричное полосатое, Красавица Москвы, Мечта, Московское зимнее, Зимняя красавица, Мартовское, Бельфлер-Китайка, Вишневое, Жигулевское, Китайка апортовая, Куликовское, Спартан.

Следует отметить, что из всех перечисленных высоко устойчивых, относительно высоко устойчивых и среднеустойчивых к парше листьев сортов яблони только Антоновка обыкновенная, Жигулевское, Куликовское, Спартан являются районированными сортами [3].

В группу сортов, проявляющих относительно низкую устойчивость к парше листьев, входят: Орлик, Синап Орловский, Мелба, Красное раннее, Апорт кроваво-красный, Катерен, Папировка Сузова, Старккрасимсон, Утренняя звезда, Суйслепское, Урожайное Сузова, Мантет, Ренет Отцовский, Папировка, Чиллини, Россошанское багряное, Квинти, Находка Лебедянского, Россошанское лежкое, Апрельское, Коричное новое, Лобо, Память Ульянищева, Первый салют, Росса, Грушевка Московская, Совхозное, Пасхальное, Крупное Ртищева, Лимонка крупная. Из перечисленных сортов с относительно низкой устойчивостью к парше листьев Мелба и Папировка являются районированными сортами [5].

В группу наиболее восприимчивых (проявляющих низкую устойчивость) сортов входят: Ртищевское, Уэлси, Налив белый, Раннее алое, Жуковское, Серуэл, Кальвиль снежный, Мекинтош, Мезенское, Северная заря, Анис алый, Братчуд.

### Выводы

1. По результатам исследований 2008-2010 гг. следует заключить, что высокую полевую устойчивость к парше листьев в условиях г. Белгорода проявляют следующие сорта яблони: Зарянка, Солнышко, Рождественское, Кандиль Орловский, Свежесть, Орловим, Афродита, Имрус, Курнаковское, Чистотел, Орловский пионер, Орловское полесье, Юбилей Москвы, Болотовское, Память Исаеву, Первинка, Старт, Здоровье, Вита, Память Семакину, Юбиляр, Царский Щип, Китайка Долго, Орлинка, Китайка золотистая, Алтайский Голубок, Ветеран, Медуница, Слава Мичуринска, Трофимовское.

2. Наибольшую восприимчивость к парше листьев в условиях г. Белгорода проявляют следующие сорта яблони: Ртищевское, Уэлси, Налив белый, Раннее алое, Жуковское, Серуэл, Кальвиль снежный, Мекинтош, Мезенское, Северная заря, Анис алый, Братчуд.

3. Выделенные нами высокоустойчивые к парше листьев сорта яблони можно рекомендовать для выращивания и селекционной работы в условиях г. Белгорода и Белгородской области.

### Список литературы

1. Савельева Н.Н. Хозяйственно-биологическая и экономическая оценка иммунных к парше сортов яблони в условиях Центрально-Черноземного региона России: Автореф. дис. ... канд. с.-х. н. – Мичуринск-наукоград, 2008 – 21 с.
2. Интенсивные технологии в садоводстве. – М.: Агропромиздат, 1990. – С. 11.
3. Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур / Под общ. ред. Г.А. Лобанова. – Мичуринск, 1973. – 493 с.
4. Жданов В.В., Седов Е.Н. Селекция яблони на устойчивость к парше. – Тула: Приок. кн. изд-во, 1991. – 208 с.
5. Районированный сортимент садовых культур Белогорья (каталог) / Составители: В.Н. Сорокопудов, В.В. Языкова, Н.Н. Маслова и др. – Белгород, 2008. – 36 с.

## FIELD STABILITY OF GRADES OF THE APPLE-TREE TO APPLE SCAB LEAVES IN THE CONDITIONS OF THE BOTANICAL GARDEN OF THE BELGOROD STATE NATIONAL RESEARCH UNIVERSITY

**E.N. Dunayeva, A.V. Dunayev**

*Belgorod State National Research  
University  
Pobedy St., 85, Belgorod, 308015,  
Russia*

*E-mail: kiryushenko@bsu.edu.ru*

In the article the results of three-year (2008-2010) researches on the ecology of the apple leaves scab pathogen and the resistance to the scab of apple leaves of apple-tree cultivars which are available in the collection of the Botanical garden of the Belgorod State National Research University are presented. Resistant cultivars, perspective for cultivation in the conditions of the Belgorod Region are selected.

Key words: resistance, scab of apple trees, resistant cultivar.



## Сукцессия растительных ассоциаций на поселениях общественной полевки (*Microtus socialis* Pall.) на молодых территориях Волго-Уральского междуречья<sup>1</sup>

**О.А. Бухарева**

**А.В. Быков**

Институт лесоведения РАН  
141030, Московская область,  
Одинцовский район, с. Успенское,  
ул. Советская, д. 21

E-mail: buola@yandex.ru

Исследовалась сукцессия растительных ассоциаций на поселениях общественной полевки (*Microtus socialis* Pall.) на молодых территориях глинистой полупустыни Волго-Уральского междуречья. Для пробной площади, заложенной на второй террасе сора Хаки, в 2008 и 20011 годах составлены карты растительности масштабом 1:400. Выстроен сукцессионный ряд растительных ассоциаций на поселениях: горец птичий → баянница очитковидная → лебеда красивоплодная → житняк пустынный с ковылями → житняк с овсяницей валлиской. При сравнении стадий зарастания поселений с известными стадиями демутиации залежей выявлено отсутствие корневищно-отпрысковой стадии. На территориях со слабо развитым микрорельефом роющая деятельность увеличивает разнообразие условий обитания растений, способствуя увеличению видового разнообразия. Приобретенная в результате роющей деятельности полевки «остепенность» пропадает при уменьшении численности зверька.

Ключевые слова: общественная полевка (*Microtus socialis* Pall.), роющая деятельность, растительные ассоциации, глинистая полупустыня Заволжья.

### Введение

Известно, что роющая деятельность животных является одним из основных средообразующих факторов экосистем Северного Прикаспия. На молодых территориях глинистой полупустыни Волго-Уральского междуречья жизнедеятельность малого суслика (*Spermophilus pygmaeus* Pall.) определяет разнообразие и комплексность почвенного и растительного покровов [1–6]. В глинистой полупустыне велика роль и мышевидных грызунов, прежде всего такого массового вида, как общественная полевка. Территории, занятые поселениями этого зверька, отличаются большим флористическим богатством, чем свободные от них [1, 6–8].

Общественная полевка создает сложную разветвленную систему ходов на глубине 10–30 см. В годы высокой численности протяженность ходов на среднем поселении составляет 60–80 м и достигает 2 км на гектар. Общий же объем ходов может достигать 1–1.5 м<sup>3</sup>/га [9]. Отличительной особенностью поселений полевок является то, что вокруг основного поселения со сложившейся системой ходов, гнездовых камер, кладовых существуют еще и участки с ходами, расположенными на небольшой глубине, которые используются зверьками для перемещения в места кормления. При истощении кормовых участков, полевки перестают пользоваться этими ходами и роют новые. При этом основная жилая часть поселения не забрасывается [10–12]. Таким образом, участки с активной роющей деятельностью постоянно меняются в пространстве, что приводит к последовательной смене растительных ассоциаций на поселениях.

Воздействие полевок на растительность можно разделить на: 1) прямое – поедание надземных и подземных частей кормовых видов, разрывание и обнажение корней при рытье ходов, засыпание побегов и точек роста [13–15] и 2) косвенное – через улучшение химических и физических свойств почв [9, 16]. Оба типа воздействия приводят к смене растительных ассоциаций.

Воздействие полевки на травостой различных аридных территорий изучали многие исследователи [9, 11, 13–15 и др.]. Показано, что в результате жизнедеятельно-

<sup>1</sup> Работа выполнена в рамках ГК № 14.740.11.0956 от 29.04.2011 г.

сти общественной полевки на их поселениях растительность сначала частично или полностью уничтожается, после чего начинается процесс восстановления естественной флоры, сходный с восстановлением растительности на залежах. В связи с этим предлагается рассматривать поселения общественной полевки как «динамичные микрокомплексы» [14].

Целью нашей работы было изучение влияния общественной полевки на растительный покров молодых территорий глинистой полупустыни, находящихся на начальных стадиях континентального развития.

### Объекты и методы исследования

Характерной чертой глинистой полупустыни Волго-Уральского междуречья является чрезвычайная пестрота почвенно-растительного покрова и связанная с микрорельефом комплексность. При движении на юг комплексность растительного покрова постепенно уменьшается, возрастает значение полукустарников, преимущественно полыней – *Artemisia* (латинские названия даны по сводке С.К. Черепанова [17]) и представителей семейства маревых – *Chenopodium*. Лерхополынные (*Artemisia lerschiana*) пустыни являются здесь наиболее распространенными. Из полукустарников в лерхополынных в значительном количестве встречается кохия простертая – *Kochia prostrata* и пижма тысячелистниковая – *Tanacetum achilleifolium*. В небольшом количестве имеется длительно вегетирующее разнотравье (солонечник мохнатый – *Galatella villosa* и татарский – *G. tatarica*, кермеки – *Limonium* и др.), весной массово произрастают эфемероиды (мятлик луковичный – *Poa bulbosa*, тюльпан Биберштейна – *Tulipa biebersteiniana*, гусиные луки – *Gagea*) и эфемеры (клоповник пронзеннолистный – *Lepidium perfoliatum*), бурачок туркестанский пустынный – *Alyssum turkestanicum desertorum* и др.) [18–20].

Изучение смены растительных ассоциаций при воздействии общественной полевки проводилось на первой и второй террасах сора Хаки Западно-Казахстанской области Республики Казахстан в 2008–2011 гг.

Сор Хаки расположен на юге глинистой полупустыни и представляет собой реликтовое озеро, оставшееся после дигрессии Хвалынского моря. На севере и западе сора берега представлены резко выраженными первой и второй террасами. Возраст этих террас по разным оценкам составляет от 10000 до 20000 лет. Разница в возрасте двух террас колеблется от 500 до 2000 лет [21, 22].

Первая терраса сора Хаки расположена на абсолютной высоте –10 м. Грунтовые воды находятся на глубине 1.7 м. Территория представляет собой практически ровную поверхность с небольшим уклоном в сторону уреза сора. Почвенный покров здесь представлен солонцами светлыми гидрометаморфическими средними (реже мелкими) карбонатными солончаковыми [23]. На этой территории суслики отмечались еще в 1970-х годах [1], но в настоящее время их постоянные поселения здесь отсутствуют. На территории нет и поселений общественной полевки.

Вторая терраса сора Хаки расположена на абсолютной высоте около -5 м, грунтовые воды залегают здесь на глубине 2.2 м. Микрорельеф территории слабоволнистый. Перепады высот без учета высоты сусликовин составляет 8 см. Почвенный покров на данной территории представляет собой трехчленный комплекс: микроповышения сусликовин заняты зоотурбированными солонцами, ровные территории представлены солонцами светлогумусовыми гидрометаморфическими (квазиглеевыми) средними карбонатными солончаковыми, в микропонижениях – светлокаштановые почвы разной степени солонцеватости [24].

Обитание общественной полевки на данной территории является не постоянным. Так Б.Д. Абатуровым, работавшим здесь во второй половине прошлого столетия, этот вид не отмечался (личное сообщение). Однако в 2006 г. поселения полевки занимали на второй террасе до 15% территории. По количеству выбросов земли на поверхность можно было судить, что их жизнедеятельность была очень активной. В 2011 г. количество обитающих животных на территории сократилось, о чем свидетельствовало уменьшение площади занимаемой поселениями полевки (не более 5%), а также уменьшение количества выбросов на сохранившихся поселениях.



Влияние деятельности полевок изучалось на площадках (100×100м каждая), заложенных на первой и второй террасах в 2006 г. Для каждой из площадок в 2008 г. были составлены карты растительности в масштабе 1:400. В 2011 году на второй террасе было проведено повторное картирование растительности. На первой террасе такая работа не проводилась, в виду отсутствия здесь какой-либо роющей деятельности. Оцифровка и статистическая обработка карт проводилась в программе ArcGIS.

При анализе ботанических карт считалось, что ассоциации, расположенные в центре поселения, являются более старыми и сильнее подверглись воздействию животных, чем те, которые расположены по краям участка.

### Результаты и их обсуждение

Растительный покров первой террасы сора Хаки однороден и крайне беден в видовом разнообразии. Комплексность для него не характерна. В основном растительность представлена пустынными и солевыносливыми видами: лебедой белой – *Atriplex cana*, лебедой бородавчатой – *A. verrucifera*, кермеком полукустарниковым – *Limonium suffruticosum*, полынями Лерха и сантонийской – *A. santonica*, солянкой листовичной – *Salsola laricina* и мятликом луковичным. В направлении к сору в составе растительного покрова начинают преобладать солеустойчивые виды, такие как анабазис безлистный – *Anabasis aphylla*, сарсазан шишковатый – *Halocnemum strobilaceum*, также в растительном покрове присутствует неравноцветник кровельный – *Anisantha tectorum*.

При описании флоры второй террасы сора Хаки было выделено два ряда растительных ассоциаций: к первому относятся растительные ассоциации фоновых территорий, расположенные вне сусликовин и поселений общественной полевки (фоновые ассоциации); ко второму – растительные ассоциации, связанные с роющей деятельностью общественной полевки и малого суслика (зоогенные ассоциации). Вторым ряд мы разделили на 4 группы:

- 1) ассоциации на поселениях общественной полевки, где роющая деятельность наблюдалась в момент описания;
- 2) ассоциации на поселениях без видимых признаков роющей деятельности в момент составления карты;
- 3) ассоциации на сусликовинах;
- 4) ассоциации вокруг сусликовин, образовавшиеся в результате роющей деятельности полевок и сноса засоленного субстрата с сусликовин на прилегающую территорию.

Последние 2 группы ассоциаций в настоящей работе не рассматриваются, т.к. они требуют большего ряда данных и отдельного анализа.

В 2008 г. в качестве фоновых выделялись следующие ассоциации: овсяницево-житняковая с участием полыни сантонийской, сантонийскополынная, солонечниковая и полукустарниково-кермековая. Доминирующими видами являются овсяница валлиская – *Festuca valesiaca*, житняк пустынный, полынь сантонийская, полынь Лерха, солонечник мохнатый и кермек полукустарниковый. Наибольшую площадь занимала овсяницево-житняковая ассоциация.

В местах поселения общественной полевки видовой состав растений сильно изменяется (см. табл. 1). Отсюда практически полностью исчезают полукустарники (кермеки, некоторые солянки, кохия, пижма, камфоросма), полыни и солонечник. Эти виды не относятся к активно поедаемым общественной полевкой растениям [9, 11, 25] и их исчезновение можно объяснить повреждением корневых систем при рытье и засыпанием точек роста. На этих участках в зависимости от интенсивности воздействия общественной полевки большую роль начинают играть сорные виды (спорыш птичий – *Polygonum aviculare*, бассия очитковидная – *Bassia sedoides*, лебеда красивоплодная – *Atriplex calotheca*). Они становятся либо единственными доминантами, либо содоминантами с фоновыми видами.



Таблица 1

**Обилие видов на фоновых территориях и поселениях общественной полевки**

Название	Фон	Поселения общественной полевки
<i>Artemisia santonica</i>	cop 12	sol
<i>Festuca valesiaca</i> Gaudin	cop 12	sol
<i>Galatella villosa</i>	cop 1	--
<i>Artemisia lerchiana</i>	sp	sol
<i>Stipa lessingiana</i>	sol	un
<i>Salsola laricina</i>	sol	--
<i>Leymus ramosus</i>	sol	--
<i>Limonium caspium</i>	un	--
<i>Kochia prostrata</i>	sol	--
<i>Tanacetum achilleifolium</i>	sol	--
<i>Camphorosma monspeliaca</i>	sol	--
<i>Limonium platyphyllum</i>	sol	sol
<i>Atriplex calotheca</i>	--	cop 1
<i>Stipa sareptana</i>	--	cop 1
<i>Stipa capillata</i>	--	cop 2
<i>Bassia sedoides</i>	--	cop 3
<i>Salsola arbuscula</i>	--	sol
<i>Agropyron desertorum</i>	sp	cop 1
<i>Polygonum aviculare</i>	sol	cop 2

На изучаемом участке в 2008 г. отмечено 8 типов ассоциаций, относящихся к первой группе. При этом четыре из них представлены ассоциациями малолетников с преобладанием спорыша птичьего, бассии очитковидной, лебеды красивоплодной (таблица 2). Анализ ботанической карты показывает, что спорышевая ассоциация является первичной при зарастании пороев, т. к. она чаще всего расположена на наибольшем удалении от центра колонии, а, следовательно, является самой молодой (рис. 1). Преобладание спорыша сменяется доминированием бассии. Ассоциация с преобладанием лебеды встречалась очень редко, что затрудняет ее постановку в динамический ряд. Вероятно, такое сообщество предшествует стадии зарастания злаками. По карте 2008 г. (рис. 2) видно, что смены однолетников чаще всего происходит в следующей последовательности: спорыш → бассия → лебеда. При этом возможно и выпадение одной из этих стадий.

Следует отметить, что на начальных стадиях воздействия для полыней, и кермека плосколи-

стного характерно сохранение отдельных экземпляров по периферии участка с интенсивной роющей деятельностью.

Таблица 2

**Растительные ассоциации в местах поселения общественной полевки в 2008 г.**

Обилие	Ассоциация				
	бассиевая	спорышевая	лебедовая	житняковая	ковыльная
cop 3	<i>Bassia sedoides</i>				
cop 2		<i>Polygonum aviculare</i>			<i>Stipa capillata</i>
cop 1 – cop 2				<i>Agropyron desertorum</i>	
cop 1			<i>Atriplex calotheca</i>	<i>Stipa sareptana</i>	
sp					<i>Festuca valesiaca</i> <i>Agropyron desertorum</i>
sol	<i>Festuca valesiaca</i> <i>Salsola arbuscula</i> <i>Polygonum aviculare</i>	<i>Atriplex calotheca</i> <i>Limonium platyphyllum</i> <i>Artemisia santonica</i> <i>Artemisia lerchiana</i> (последние 2 по краю пороев)	<i>Limonium platyphyllum</i> <i>Artemisia santonica</i> <i>Artemisia lerchiana</i> (последние 2 по краю пороев)	<i>Limonium platyphyllum</i>	<i>Dianthus andrzejowskianus</i>
un		<i>Stipa lessingiana</i>	<i>Stipa lessingiana</i>		

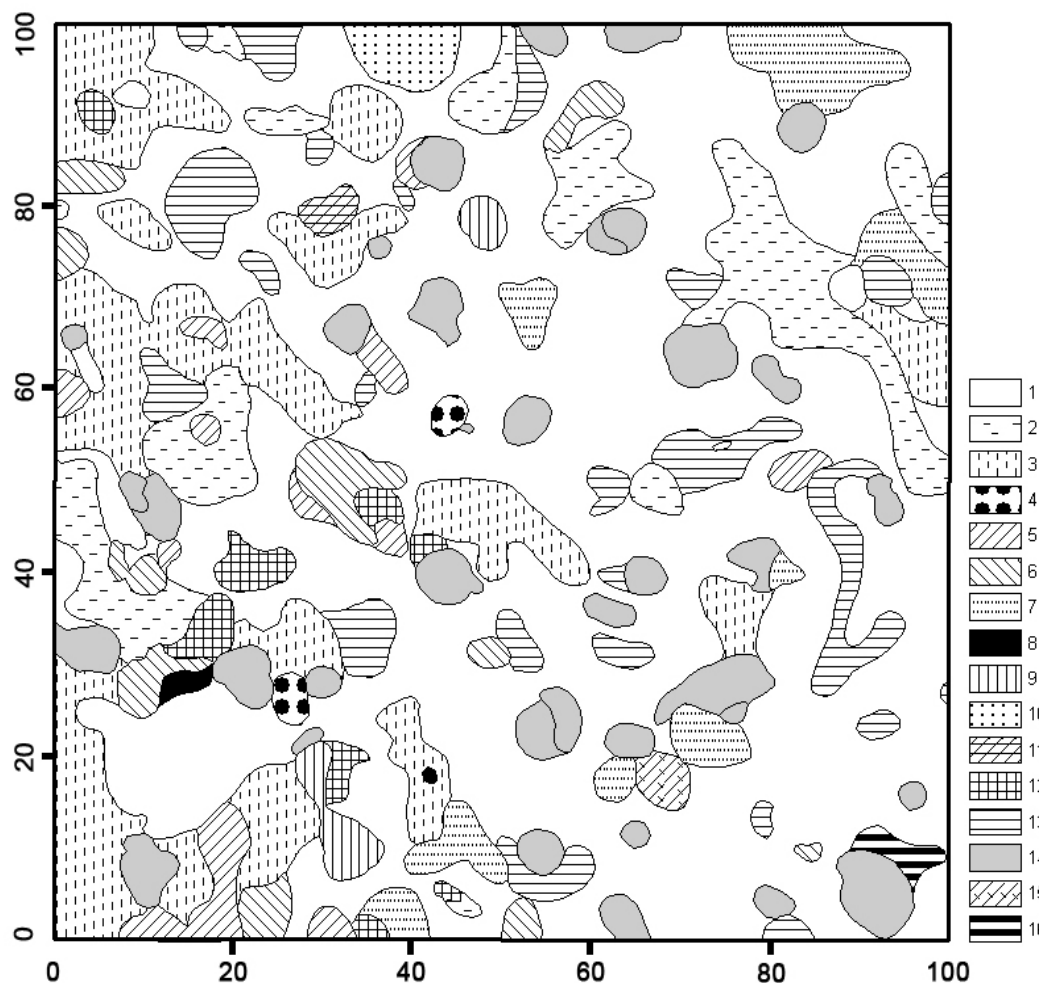


Рис. 1. Карта растительности второй террасы сора Хаки в 2008 г.

Фоновые ассоциации: 1 – житняково-овсяницевая, 2 – солонечниково-овсяницевая, 3 – сantonийскополынная, 4 – полукустарниковокермековая. Зоогенные ассоциации: 1 группа: 5 – спорышевая, 6 – бассиевая, 7 – бассиево-спорышевая, 8 – лебедовая, 9 – бассиево-житняковая, 10 – спорышево-житняковая, 11 – лебедово-житняковая, 12 – ковыльно-житняковая; 2 группа: 13 – ковыльная; 3 группа: 14 – ассоциации сусликовин; 4 группа: 15 – камфоросмово-полынная, 16 – полынная

Другие четыре ассоциации, относящиеся к первой группе, представляют собой вторую стадию изменения растительности на поселениях общественной полевки. В этих ассоциациях появляются ковыли (*Stipa capillata* и *S. sareptana*) и житняк пустынный (*Agropyron desertorum*). Первоначально в таких ассоциациях однолетники и злаки встречаются с примерно одинаковым обилием (бассиево-житняковые и спорышево-житняковые). Но постепенно однолетники вытесняются и места поселений полевки начинают представлять собой злаковые куртины (ковыльно-житняковая ассоциация).

При покидании полевкой своих ходов признаки роющей деятельности перестают быть заметными достаточно быстро [7, 16]. Однако благоприятные почвенные условия продолжают сохраняться. На таких участках образуются растительные ассоциации второй группы. В 2008 г. на исследуемом участке сюда можно было отнести только одну ковыльную ассоциацию, в которой доминирующим видом был ковыль волосатик.

В 2011 г. фоновые ассоциации заметно изменились и приобрели более зональный характер. Они были представлены преимущественно полукустарниковыми ассоциациями: кермеково-лерхопопынной, солонечниково-овсяницева, камфоросмовой и лерхопопынной. Доминирующими видами теперь стали полынь Лерха, кермек плосколистный, солонечник мохнатый и камфоросма монспелийская.

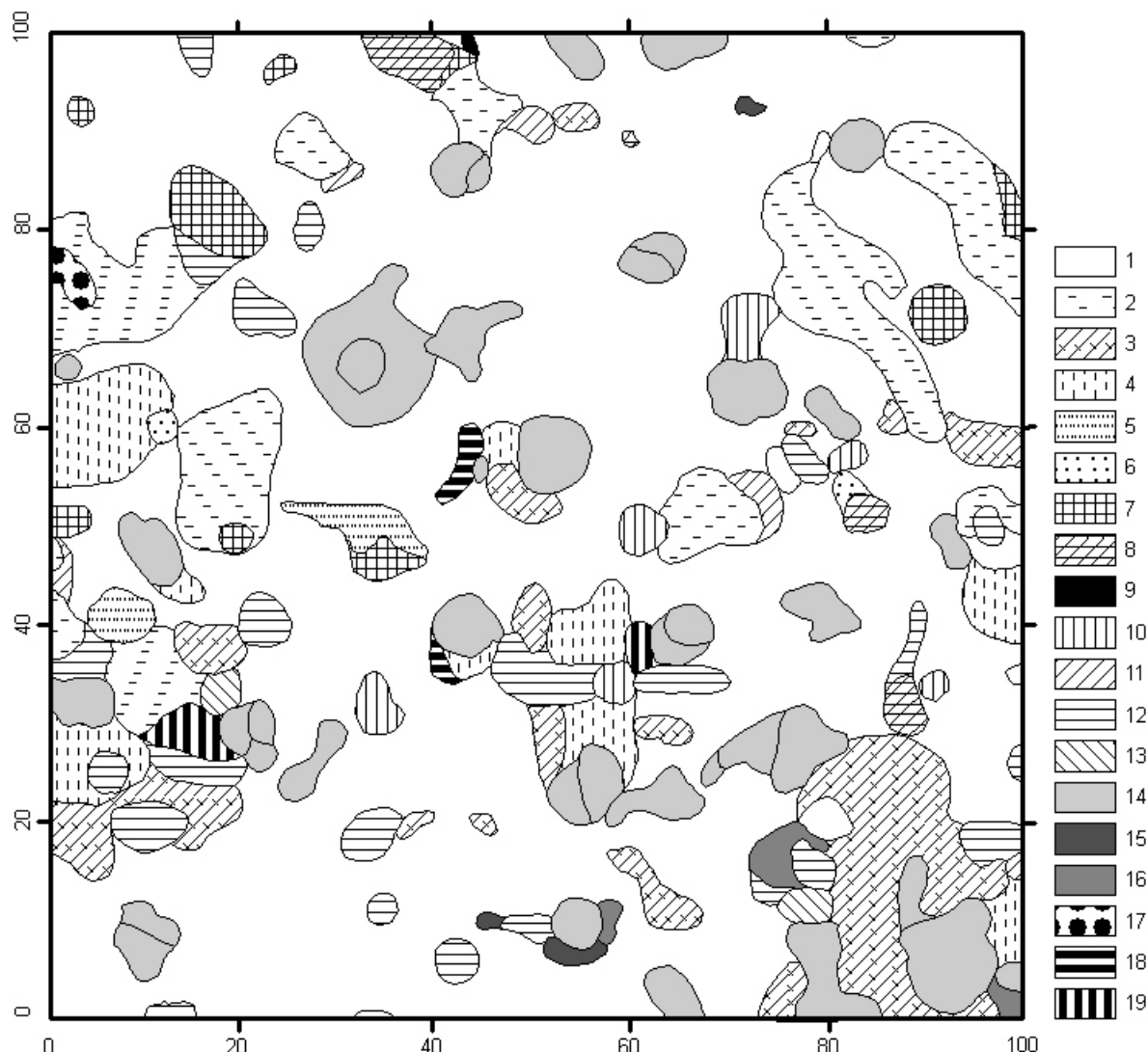


Рис. 2. Карта растительности второй террасы сора Хаки в 2011 г. Фоновые ассоциации: 1 – кермеково-лерхопопынная, 2 – солонечниково-овсяницева, 3 – камфоросмовая, 4 – лерхопопынная. Зоогенные ассоциации: 1 группа: 5 – бассиево-спорышевая, 6 – спорышево-овсяницева, 7 – ковыльно-житняковая, 8 – житняковая, 9 – овсяницева; 2 группа: 10 – ковыльно-житняковая, 11 – овсяницево-ковыльная, 12 – овсяницево-житняковая, 13 – пижмово-овсяницева; 3 группа: 14 – ассоциации сусликовин; 4 группа: 15 – волоснецовая, 16 – волоснецово-овсяницева, 17 – житняково-анизантовая, 18 – чернопопынная, 19 – петросимониева

В связи с тем, что роющая деятельность общественной полевки к 2011 г. значительно снизилась, и многие поселения были заброшены, то участки с заметными следами роющей деятельности встречались достаточно редко. И еще реже встречались ассоциации с доминированием однолетников. Нами была выделена всего одна такая ассоциация – бассиево-спорышевая. Однако увеличилась доля ассоциаций с доминированием злаков. К таким ассоциациям относятся: горцovo-овсяницева, ковыльно-житняковая, житняковая и типчаковая.



Уменьшение деятельности полевки привело к тому, что на исследуемом участке в 2011 г. появилось большое количество ассоциаций, относящихся ко второй группе. Они представляют собой небольшие округлые контуры со злаковой растительностью, расположенные вокруг поселения или самостоятельно. К таким ассоциациям относятся ковыльно-житняковая, овсяницево-ковыльная, овсяницево-житняковая и пижмово-овсяницевая. Характер и последовательность расположения контуров позволяет сказать, что сначала на заброшенных поселениях появляются ковыли – *S. capillata* или *S. lessingiana*, а затем житняк пустынный и овсяница валлисская. Переход к этим ассоциациям происходит через промежуточные ковыльно-житняковые и ковыльно-овсяницевые. Следует отметить, что злаки по-разному переносят засыпание и разрушение дерновин. Овсяница погибает при засыпании точек роста, тогда как ковыли переносят это с легкостью и их обилие часто даже увеличивается в местах обитания полевков.

Сравнение двух карт позволяет выстроить сукцессионный ряд растительных ассоциаций на поселениях общественной полевки: спорыш птичий → бассия очитковидная → лебеда красивоплодная → житняк пустынный совместно с ковылями → житняк совместно с овсяницей валлисской. Сравнение стадий зарастания поселений на молодых территориях со стадиями демултации залежей [26] показывает, что на второй террасе отсутствует корневищно-отпрысковая стадия, что, видимо, объясняется большими запасами семян злаков на старых участках поселений. Большое содержание их в ходах и в вынесенном на поверхность субстрате, и улучшенные физических и химических свойства почв [5, 16] ускоряют процесс распространения злаков. Однако, сравнивая карты, можно отметить, что в некоторых ситуациях при забрасывании поселения злаковые куртины не образовались и здесь сформировались кермеково-лерхополынные сообщества. Причины этого объяснить трудно. Возможной причиной может быть то, что полевки существовали на этих участках недолго.

Если сравнить фоновые ассоциации первой террасы, где доминирующими видами являются полынь сантонийская, марь белая и кермек полукустарниковый при полном отсутствии какой-либо роющей деятельности, с фоновыми ассоциациями второй террасы в 2008 г. (при активной роющей деятельности) и в 2011 г. (при незначительной роющей деятельности), то можно отметить, что при массовом появлении полевков на всей территории в фоновой ассоциации появляются злаки, а при уменьшении численности зверьков они достаточно быстро пропадают и фоновая растительность приобретает черты характерные для данного региона (доминирование полукустарников, однообразие растительного покрова).

### Выводы

На поселениях общественной полевки на молодых террасах сора Хаки характерная для зарастающих залежей трех стадийная смена растительных ассоциаций заменяется двух стадийной, в которой отсутствует корнеотпрысковая стадия.

На молодых территориях со слабо развитым микрорельефом роющая деятельность общественной полевки увеличивает разнообразие условий обитания и произрастания растений, тем самым способствуя увеличению и сохранению видового разнообразия. На таких территориях однолетники существуют преимущественно на пороях, а злаки появляются в результате перерывания зверьками почвы.

Приобретенная в результате роющей деятельности полевки «остепенность» молодых территорий достаточно быстро пропадает при уменьшении численности зверька.

Очевидно, что большинство растений аридного региона в той или иной степени адаптированы к воздействию роющих млекопитающих.

Авторы выражают благодарность Алексею Андреевичу Вышивкину за помощь в составлении ботанических карт.

### Список литературы

1. Абатуров Б.Д. Формирование микрорельефа и комплексного почвенного покрова в полупустыне Северного Прикаспия как результат жизнедеятельности малого суслика. // Млекопитающие в наземных экосистемах. – М.: Наука. – 1985. – С. 224 – 249.
2. Абатуров Б.Д., Девятов В.А., Зубкова Д.В. Роль роющей деятельности сусликов в перемещении минеральных веществ в полупустынных почвах Заволжья. // Почвоведение. – 1969. – № 12 – С. 93 – 99.
3. Иванов В.В. Малый суслик – рассолонитель почв. // Известия Всероссийского географического общества. – 1950. – Т. 82, Вып. 5. – С.551 – 553.
4. Киселева Н.К. Влияние малого суслика на миграцию солей в почвах Прикаспийской низменности. // Почвоведение. – 1976. – № 1. – С. 73 – 86.
5. Соколов В.Е., Абатуров Б.Д. Роль позвоночных животных в биогеоценозах пустынь. // Роль животных в функционировании экосистем. – М.: Наука. – 1975. – С. 10 – 15.
6. Ходашова К.С., Динесман Л.Г. Роль малого суслика в формировании почвенного покрова в глинистой полупустыне Заволжья. // Почвоведение. – 1961. – № 1. – С. 68 – 75.
7. Абатуров Б.Д. Млекопитающие как компонент экосистем. М.: Наука. 1984. 288 с.
8. Динесман Л.Г. Биогеоценозы степей в голоцене. – М.: Наука. – 1977. – 160 с.
9. Ходашова К.С. Природная среда и животный мир глинистой полупустыни Заволжья. – М.: Изд-во АН СССР. – 1960. – 131 с.
10. Быков А.В., Шабанова Н.П., Бухарева О.А. Особенности распространения и выживания общественных полевков в глинистой полупустыне Заволжья // Поволжский экологический журнал. – 2010. – №2. – С.133-141.
11. Воронов А. Г. Некоторые наблюдения над деятельностью общественной полевки (*Microtus socialis*) на пастбищах предгорного Дагестана // Бюлл. Моск. об-ва исп. природы. Отд. биология. – 1935. – Т. 44, № 6. – С. 314 – 323.
12. Линдеман Г.В., Абатуров Б.Д., Быков А.В., Лопушков В.А. Динамика населения позвоночных животных Заволжской полупустыни. – М.: Наука. – 2005. – 252 с.
13. Давыдов В.А. Экспериментальное изучение роли полевков в луговых биогеоценозах. – Автореф. дисс. на соиск. уч. степ. кандидата биол. наук. – Свердловск. – 1978. – 26 с.
14. Лавренко Е.М. Микрокомплексность и мозаичность растительного покрова степей как результат жизнедеятельности животных и растений. // Труды Ботанического института им. В.Л. Комарова АН СССР, серия 3 (Геоботаника). – 1952. – Вып. 8. – С. 40 – 70.
15. Формозов А.Н., Воронов А.Г. Деятельность грызунов на пастбищах и сенокосных угодьях Западного Казахстана и ее хозяйственное значение // Ученые записки. М.: МГУ. 1939. Вып. 20. Зоология С. 3-122.
16. Абатуров Б.Д. Влияние деятельности степной пеструшки на почвенный и растительный покров сухих степей Казахстана. Бюлл. МОИП. Отд. Биол. 1964. т. 19. Вып. 6. С. 24-35.
17. Черепанов С.К. Сосудистые растения России и сопредельных государств. – СПб.: Мир и семья-95. – 1995. – 990 с.
18. Джанпейсов Р.Д., Зонов Г.В., Смагулов Т. Влияние эрозии и дефляции на структуру почвенного покрова полупустынь и пустынь Казахстана. – Алма-Ата: Наука. – 1990. – 92 с.
19. Каменецкая И.В., Гордеева Т.К., Ларин И.В. Структура и динамика естественной растительности в районе Джаныбекского стационара // Тр. Института леса. – М.: Изд-во АН СССР. – 1955. – Т. XXV. – С. 175-211.
20. Прозоровский А.Д. Полупустыни и пустыни СССР // Растительность СССР. – М.; Л.; Изд-во АН СССР. – 1940. – Т.2. – С. 207-480.
21. Рычагов Г.И. Плейстоценовая история Каспийского моря. – М.: Изд-во Моск. ун-та. – 1997. – 268 с.
22. Чепалыга А.Л., Пирогов А.Н. Влияние вод Хвалынского бассейна древнего Каспия на формирование долины Маньча и его ландшафтов // Роль особо охраняемых природных территорий в сохранении биоразнообразия. – Ростов-на-Дону: Издательство Ростовского университета. – 2006. – С. 409-415.
23. Шабанова Н.П. Средообразующая деятельность малого суслика (*Spermophilus pygmaeus* Pall.) на ранних стадиях континентального развития территорий в Северном Прикаспии (на примере Боткульско-Хакской депрессии). – Автореф. дисс. на соиск. уч. степ. кандидата биол. наук. – Москва. – 2011. – 22 с.



24. Шабанова Н.П., Лебедева М.П., Быков А.В. Морфологические и химические свойства почв лугово-полупустынного комплекса террасы сора Хаки Боткульско-Хакской депрессии Прикаспийской низменности // Почвоведение. – 2010. – №3. – С. 282-292.

25. Ларионов К. О., Быков А. В., Вышивкин А. А., Шадрин М. Б. 2010. Питание общественных полевок на раннем этапе заселения зональной равнины в глинистой полупустыне За-волжья // Поволжский экологический журнал. – № 2. – С. 160 – 165.

26. Оловянная И. Н. Влияние лесных колков на солончаковые солонцы. – М.: Изд-во Наука. – 1976. – 127 с.

## **THE SUCCESSION OF PLANT ASSOCIATIONS IN THE SOCIAL VOLES (*MICROTUS SOCIALIS*PALL.) SETTLEMENTS IN YOUNG AREAS OF THE VOLGA-URAL INTERFLUVE**

**O.A. Bukhareva**  
**A.V. Bykov**

*Institute of Forest Science of Russian  
Academy of Sciences,  
Sovetskaja St., 21, Uspenskoe,  
Odintsovskii Distr., Moscow Region,  
143030, Russia*

*E-mail: buola@yandex.ru*

We investigated the succession of plant associations in the social vole (*Microtus socialis* Pall.) settlements in young areas of the Volga-Ural interfluvium. For the test area, laid down on the second terrace of the sor Khaki, in 2008 and 2011 years were analyzed vegetation maps in scale 1:400. A number of successional vegetation associations in the settlements: *Polygonum aviculare* → *Bassia sedoides* → *Atriplex calotheca* → *Agropyron desertorum* with *Stipa* → *Agropyron desertorum* with *Festuca valesiaca* was built. Comparison of the stages of colonization settlements with certain regeneration stages of fallow land revealed a lack of root-proliferous stage. In areas with poorly developed microrelief burrowing activity increases the diversity of the habitat of plants, helping to increase species diversity. Acquired as a result of burrowing activity of the voles "steppelike" disappears with a decrease in the number of the animal.

Key words: social voles (*Microtus socialis* Pall.), burrowing activity, plant associations, clayey semi-desert of Trans-Volga region.

## ТРОФИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА СООБЩЕСТВА МАКРОЗООБЕНТОСА ВОДОЕМОВ В 30-КМ ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ЛЕБЕДИНСКОГО ГОКА

**А.Е. Силина**

*Заповедник «Белогорье»,  
Россия, 309342,  
Белгородская обл.,  
пос. Борисовка,  
пер. Монастырский, 3*

*E-mail: allasilina@list.ru*

В статье приводятся результаты изучения трофической структуры макрозообентоса 11 водоемов в 30-километровой зоне влияния Лебединского ГОКа в 2010 г.: 4-х ручьев и родников, 3-х малых рек, 3-х прудов и гидроотвала ЛГОКа в Белгородской области. Проанализирована роль трофических групп и гильдий, проведен сравнительный анализ трофического разнообразия, структуры донных сообществ и распределения доминирующих групп и видов из различных гильдий в гидробиоценозах в условиях КМА на территории среднерусской возвышенности. Дан сравнительный анализ по отдельным показателям 2010 г. и 2008 года.

Ключевые слова: макрозообентос, водная экосистема, трофическая структура, гильдии, трофическое разнообразие, донные сообщества.

### Введение

В Центральном Черноземье исследования трофической структуры водоемов в зоне сильного антропогенного влияния ранее не проводились. Для охраняемых и рекреационных территорий имеются работы по Усманскому бору [1, 2.], болотным водоемам Центрально-Черноземного заповедника [3]. С 2006 г. на водоемах 10-км зоны, а с 2007 г. – 30-км зоны влияния Лебединского ГОКа проводились исследования макрозообентоса на 13 водоемах, данные по которым частично опубликованы [4] и др.

Целью наших исследований являлось выявление основных особенностей трофической структуры и ее сравнительный анализ для родниково-ручьевых, речных, прудовых экосистем и хвостохранилища ЛГОКа, а также сопоставление данных 2010 г. с результатами более ранних исследований автора на этих водоемах.

### Материал и методика

Место исследования. Для настоящего анализа взяты данные по 11 водоемам, обследованным в 2010 г.: 4 ручья и родника, 3 пруда различного происхождения, 3 малых реки, гидроотвал Лебединского ГОКа.

Гидроотвал ЛГОКа обследовался в 2 пунктах. В северной части – пункт с каменистым грунтом, местами – глина без наилка, единично отмечены вейник и тростник, глубины 0.4–0.5 м; в северо-восточной части – пункт с глинисто-меловым грунтом, с массовым произрастанием в прибрежье вейника тростниковидного и, реже – тростника южного, вдоль берега редко – крупные камни вскрышных пород, глубины 0.2–0.4 м.

Балка Суры. Пруд в балке Суры, техногенного происхождения, возникший в результате эксплуатации гидроотвала, с регулируемым водным режимом [1], расположен в 1–2-км охранной зоне заповедника «Белогорье» (участок «Ямская степь»). Наполнение балки происходит за счет постоянной разгрузки грунтовых вод. Обследование проводилось в 7 пунктах: вершинный участок пруда (отвершек) и литораль в зоне разбавления грунтовых вод, в 3–4 м от берега, право- и левобережная литораль и профундаль центрального участка, защищенная (у зарослей тростника и рогоза) литораль приплотинного участка и зона разбавления приплотинного участка (непосредственно у плотины). Глубины в литорали – до 0.4–0.5 м, в профундали – 0.9–1.1 м.

В вершинном роднике (лимнокрен) пробы отбирались в истоке и по границе водобойного колодца (чаши), в приплотинном ручье (реокрен) – в приустьевом участке.

Долина р. Дубенка. Пруд на р. Дубенка в окр. с. Успенка обследовался в 3 пунктах: защищенной и открытой литорали ниже дамбы у рогозовой ассоциации вершин-



ного участка, и защищенной (вторичной) литорали центрального участка (глубины 0.3–0.6 м). По сравнению с 2006–2008 гг., пруд сильно высох и зарос тростниково-рогозовыми куртинами, водные линзы остались вдоль бывшего русла. Пробы отбирались в пунктах, максимально приближенных к постоянным станциям, со смещением вглубь на 10–15 м. Родник у р. Дубенка в окр. с. Успенка, впадающий в р. Дубенка, обследовался выше плотины, на правом берегу р. Дубенка. Родник имеет оформленный исток в меловой чаше и русло ручья длиной до 10 м и шириной до 0.4–0.5 м, с глубинами до 0.15 м. Обследовались 2 пункта: исток (лимнокрен) и устьевая часть ручья при впадении в р. Дубенка. В устьевой части произрастает мох дрепанокладус и ряска малая. Р. Дубенка обследовалась в верховье, в непосредственной близости к родниковому ручью, выше плотины, в окр. с. Успенка. Ширина реки до 2 м, русло заросло водными макрофитами, скорость течения высокая, температура воды низкая под влиянием вод родниковой разгрузки. Глубина до 0.5 м, дно плотное, грунт – глина, ил с примесью меловой крошки.

Долина р. Орлик. Пруд на р. Орлик, расположенный в 22 км от ЛГОКа у с. Мелавое, обследовался в 3 пунктах, в правом берегу центрального участка – в открытой и защищенной литорали (глубины 0.4–0.6 м) и профундали (1.2 м). Дно сильно заилено. В защищенной литорали произрастала рогозая ассоциация, в открытой – роголистник, элодея канадская, режа – уруть. Место обследования р. Орлик находится в 20-км зоне влияния Лебединского ГОКа (в 2 км ниже по течению от с. Мелавое), в районе автодорожного моста у с. Богословка. Обследование проводилось в 3 пунктах ниже автодорожного моста: левобережная заросшая рипаль выше переката, перекат и открытая заиленная рипаль ниже переката. Ниже моста дно реки топкое, с мощными иловыми отложениями и глинистым грунтом, по руслу на течении – заросли ежеголовника, режа – роголистника темно-зеленого, ряски маленькой. Глубины в пунктах обследования – до 0.6–0.8 м, течение сильное. Ширина реки 2.5–4 м, берега пологие, заросшие ивняком, вдоль береговой линии местами распространены заросли рогоза широколистного, манника большого. Родник у с. Богословка, впадающий в р. Орлик у с. Богословка выше автодорожного моста, обследовался в 4 пунктах: в истоке у трубы, у истока, выходящего из питьевого колодца, в русле ручья шириной до 2.5 м в 10 м от истока и в запруде, используемой для выгула домашних гусей. Грунт в первых трех пунктах каменистый, чистый, в запруде – глинистый, дно плотное, глубина до 0.4–0.5 м, ширина до 20 м.

Р. Ольшанка обследовалась на границе верхнего и среднего течения, в окр. с. Кочегуры Чернянского района, в 30-км зоне от Лебединского ГОКа. Река имеет сильную грунтовую подпитку, благодаря чему температура воды на 2–5°C ниже, чем в р. Орлик. Обследование проводили в 10 пунктах: в 15 м выше автодорожного моста, с умеренным течением и сильным заилением рипали; в медиали под автодорожным мостом в начале плеса на камнях и заиленной медиали, и в правобережной рипали среди моховых обрастаний на потоке, на корнях ивы на потоке и в водопропускной трубе; в левобережной рипали плеса и по урезу воды, в медиали плеса; в сужении русла в 70 м ниже плеса, на потоке и в рипали. Выше моста произрастали стрелолист, поручейник, по руслу на течении – рогоз широколистный. В районе моста русло меандрирует. Ширина основного русла выше моста – 5–6 м, на плесе 12 м, русло ниже плеса – 1.5–3.0 м. Глубины в местах отбора проб – до 1.2 м, основная площадь плеса представляет собой мелководную (40–70 см) зону с плотным заиленным дном с примесью мела и глины. В 2010 г. площадь плеса сильно заросла рогозом и манником, плес уменьшился в размерах.

Методы исследования. Пробы макрозообентоса отбирали ковшевым дночерпателем с площадью захвата дна 1/40 м<sup>2</sup> (по два черпания на одну пробу) 15–17 сентября 2010 г. Донный грунт промывали в лабораторных условиях по общепринятой методике [5]. Качественные пробы отбирали водным и энтомологическим сачком. Всего отобрано и проанализировано 39 проб, определено более 7 тыс. организмов.

При описании трофической структуры для каждой трофической группы и гильдии рассчитывалась доля их биомассы в сообществе, а также использовались показатели конкуренции (отношения хищных видов к мирным) и трофического разно-



образия  $N_{тр}$  для трофических гильдий, доля хищничающих видов, доля «хищной» биомассы, включающей биомассу зоофагов и  $1/2$  биомассы хищных полифагов, выявлялось число трофических уровней, включая базовый [3, 6]. Данные по пищевой специализации видов взяты из монографий А.В. Монакова [7], Э.И. Извековой [8], А.И. Шиловой [9] и др.

### Результаты и их обсуждение

В трофических структурах макрозообентоса 11 водоемов 30-км зоны влияния ЛГОКа в 2010 г. выявлено 24 гильдии из 5 трофических групп: зоофаги (6 гильдий, 56 видов), хищные полифаги (7 гильдий, 34 вида), «мирные» полифаги (5 гильдий, 91 вид), детритофаги (2 гильдии, 15 видов), фитофаги (4 гильдии, 13 видов). В прудах выявлено 19 гильдий, в малых реках – 17, в родниках и ручьях – 6, гидроотвале ЛГОКа – 2.

В донных сообществах родниково-ручьевых водотоков выявлено 6 гильдий из 5 групп, по 1 гильдии в группе, кроме хищных полифагов (2 гильдии) (таблица 1).

Таблица 1

**Трофическая характеристика донных зооценозов водоемов 30-км зоны влияния ЛГОКа в 2010 г.**

Показатели Водоемы	$N_{тр}$ , бит/г гильдии	Число гильдий	Число трофических групп	Число видов верхних хищников	Число гильдий/видов в группах				
					зоофаги	хищные полифаги	«мирные» полифаги	детритофаги	фитофаги
Гидроотвал ЛГОКа	-	2(6)	5	(1)	2/3	1/2	1/5	1/1	1/1
<i>Пруды</i>	0.99–2.20	19	5	12	5/28	6/19	3/50	2/11	3/6
Балка «Суры»	0.99–1.84	9	5	0–1 (2)	2/7	2/8	2/23	2/7	1/1
Окр. с. Успенка (на р. Дубенка)	1.10–2.20	12	5	1–3 (5)	3/10	4/4	2/8	2/6	1/1
Окр. с. Богословка (на р. Орлик)	1.30–1.73	12	5	1–5 (8)	2/19	4/9	3/28	1/8	1/4
<i>Малые реки</i>	1.09–2.28	17*	5	9	5/29	4/21	4/53	1/9	3/5
р. Дубенка	1.09	4	4	0	1/3	1/2	1/1	1/4	-
р. Орлик	1.52–1.95	12	4	2–4 (4)	5/14	3/8	3/23	1/4	-
р. Ольшанка (окр. с. Кочегуры)	1.38–2.28	14	5	0–5 (9)	3(4)/15(16)*	4/9	2/16	1/5	3/5
<i>Родники, ручьи</i>	0.23–1.26	8	5	2(4)	1/10	2/5	1/20	1/2	2/4
Балка «Суры»	1.21–1.26	4	3	0–1 (1)	1/5	2/2	1/4	-	-
Окр. с. Успенка (впадающий в р. Дубенка)	0.37–0.62	4	4	1–2 (2)	1/5	1/2	1/7	-	1/4
Окр. с. Богословка (впадающий в р. Орлик)	0.23–0.88	5	5	0– (1) (1)	1/1	1/2	1/16	1/2	1/1
Всего		24	5	19	56	34	91	15	13

Примечание: знаком «\*» обозначены виды с учетом реофильного зооперифитона; ( ) – с учетом «условно» верхних хищников.

В в родниково-ручьевых сообществах в балке Суры выявлено 4 гильдии из 3 трофических групп. Трофическое разнообразие стабильно низкое – 1.21–1.26 бит/г гильдии. Характерны большая роль хищных форм и высокий уровень конкуренции



( $X/M=1.0-1.7$ ). Число трофических уровней – от 4 в лимнокрене вершинного до 5 в реокрене приплотинного водотоков. В вершинном роднике в балке Суры обитают представители 3 гильдий из зоофагов, хищных и «мирных» полифагов. Доминируют зоофаги *Dicranota bimaculata* (52.5% биомассы), субдоминируют «мирные» полифаги (43.1%) при преобладании диамезин *Pseudodiamesa branickii* (42.9%). Доля хищничающих видов составила 50%, «хищной» биомассы – 54,7%. В приплотинном родниковом ручье, при том же числе групп и гильдий, увеличивается разнообразие и доля зоофагов – 4 вида биомассой 63.9% от общей, при доминировании жуков плавунцов р. *Agabus* (40.5%) и лимоний р. *Pilaria*, растет значимость и хищных полифагов за счет крупных личинок сапрозоофагов – личинок слепней (10.6%). Доля хищничающих видов составила 62.5%, биомассы – 69.2%. Роль фитодетритофагов снижается до 25.5%. К верховным хищникам вершинного родника можно отнести хищных лимоний р. *Dicranota*, питающихся мелкими хирономидами и олигохетами. В приплотинном, кроме лимоний р. *Pilaria*, обитают типичные верховные хищники, личинки р. *Agabus* и имаго *Agabus guttatus*.

В роднике, впадающем в р. Дубенка, в окр. с. Успенка, к вышеупомянутым трофическим группам добавляются фитофаги (жуки-плавунчики р. *Haliphus* и водобродки *Octhebius minimus*), по 4 группы и гильдии в каждом сообществе. Основной поток энергии сообществ проходит через «мирных» полифагов гильдии фитодетритофагов собирателей (93.9% в истоке и 88.9% в устье). В истоке абсолютно лидирует *Asellus aquaticus* (85.3%). В устье уровень его доминирования снижается до 57.1%, субдоминантами были хирономиды: диамезины *Pseudodiamesa branickii* (18.1%) и танитарзины *Krenopsectra acuta* (10.8% биомассы сообщества). Доля хищных видов была одинакова (по 38.5%), как и уровень конкуренции ( $X/M=0,6$ ), доля «хищной» биомассы повышается в устье (с 5.6% до 8.8%). Из верховных хищников в истоке обитали личинки *Agabus sp.*, в устье и пиявки *Erpobdella lineata*. Кроме того, присутствовали крупные (личинки эмпиид р. *Clinocera*) и мелкие специализированные (клещи р. *Sperchon*) и генерализированные хищники (жуки р. *Laccobius*, хирономиды р. *Macropelopia*). Это обеспечило 5-уровневый, завершённый вид трофической пирамиды, хотя трофическое разнообразие было низким – от 0.37 бит/г гильдии в истоке до 0.62 бит/г гильдии в устье, что является характерным для пионерных родниковых сообществ, насыщенных видами вследствие бедности трофических ниш специфических гидроэкотопов.

В зообентосе родникового ручья, впадающего в р. Орлик у с. Богословка, выявлено 5 гильдий из 5 трофических групп – к уже упомянутым добавляются детритофаги гильдии глотателей. Здесь также преобладают «мирные» полифаги гильдии фитодетритофагов собирателей – от 94.9–96.9% в родниковых сообществах (первичный и вторичный, из колодца, истоки) и 72.7–78.0% - в ручьевых (выше и ниже купальни). В родниковых сообществах ведущими видами гильдии в первичном истоке были *P. branickii* (64.9%) и типулиды *Tipula lateralis* (23.3%), во вторичном – *A. aquaticus* (65.4%) и ручейник *Ironoquia dubia* (24.7%). В ручьевых сообществах выше купальни в гильдии доминировали *P. branickii* (49.8%) и *K. acuta* (19.9%). Ниже купальни из-за выпаса домашних гусей произошла резкая смена трофического статуса участка, проявившаяся в крайне низком обилии беспозвоночных, представленных хирономидами, при приоритете биомассы *P. branickii*. Доля зоофагов, отмеченных только в первичном истоке (3.3%), минимальна из всех родниково-ручьевых сообществ, однако, при отсутствии облигатных хищников, роль хищных полифагов возрастает до 26.8–22.0% (за счет продиамезин *Prodiamesa olivacea*). Данное явление отмечалось для болотных экосистем [3]. Единственный вид хищника – *Dicranota bimaculata*, вероятно, осуществляет и роль верховного хищника, в качестве жертв потребляя факультативно хищничающих продиамезин и насекомых из других гильдий. Фитофаги представлены видом альгофагов собирателей из хирономид *Lipiniella moderata* (0.9% биомассы в пункте обнаружения), детритофаги – двумя видами глотателей из олигохет (люмбрициды р. *Dendrodrilus* в истоке и тубифициды р. *Limnodrilus* выше купальни), составлявших 0.5–1.3% биомассы в пунктах обнаружения. Трофическое разнообразие сообществ

низкое – 0.23–0.35 бит/г гильдии в истоковых и 0.76–0.88 бит/г гильдии в русловых сообществах, что подтверждает общую для родниково-ручьевых сообществ тенденцию увеличения трофического разнообразия в направлении от истока к устью. Число гильдий и групп колебалось от 4 в первично истоковом сообществе до 2–3 в других, число трофических уровней – от 4(5) до 3 соответственно. Таким образом, трофические пирамиды в большинстве сообществ имели усеченный вид, уровень конкуренции минимален среди исследуемых родниково-ручьевых сообществ ( $X/M=0.1-0.5$ ). Доля хищничающих видов составляла 10.0–33.4% видов, доля «хищной» биомассы с – 1.1–3.6% в истоковых и 11.0–13.4% в русловых ручьевых сообществах.

В 3 малых реках выявлено 17 гильдий из 5 трофических групп, 9 видов верховных хищников, преимущественно насекомых. Зоофаги представлены 29 видами, хищные полифаги – 21, «мирные» полифаги – 53 (45.7%), детритофаги – 9, фитофаги – 5 (таблица 2).

Таблица 2

**Насыщенность видами трофических гильдий в водоемах  
30-км зоны влияния ЛГОКа**

Виды, группы	Водоемы	Гидроотвал ЛГОКа	Пруды			Малые реки			Родники, ручьи			
			Балка Суры	Успенка	Мелавое	Дубенка	Орлик	Ольпанка	Балка «Суры»		Успенка	Богословка
									Вершина	Плотина		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Зоофаги	3	7	10	19	3	14	15+1*	1	4	5	1	
Хищники хвататели	2	6	7	18	3	8	13+1*	1	4	5	1	
Хищники высасыватели			2			2						
Гемофаги моллюсков						1						
Гемофаги пойкилотермных беспозвоночных			1			1	1					
Эктопаразиты насекомых				1								
Эндопаразиты насекомых	1	1				2	1					
«Хищные» полифаги	2	8	4	9	2	8	9+2*	1	1	2	2	
Всеядные соскребатели		1	1	4			3					
Всеядные собиратели				2								
Всеядные собиратели+хвататели	2	7	1	2	2	6	2+1*	1		2	2	
Планктофаги фильтраторы				1								
Планктофаги фильтрато- ры+собиратели						1	3+1*					
Фито-зоофаги собиратели +хвататели			1									
Сапро-зоофаги собирате- ли+хвататели			1			1	1		1			
«Мирные» полифаги	5	23	8	28	1	23	16+8*	2	3	7	16	
Сестоно-фитодетритофаги фильтраторы+ собиратели		17	1	16		12	2					
Сестоно-фитодетритофаги фильтраторы				2								
Нанопланктофаги фильтраторы							1*					
Фито-детритофаги фильтраторы						1						
Фито-детритофаги собиратели	5	6	7	10	1	10	14+7*	2	3	7	16	
Детритофаги	1	7	6	8	4	4	5				2	
Детритофаги собиратели	1	1	1									
Детритофаги глотатели		6	5	8	4	4	5				2	



Окончание таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Фитофаги	1	1	1	4			5+1*			4	1
Фитофаги жующие	1	1	1	4			3				
Альгофаги фильтраторы+собиратели							1				
Альгофаги собиратели							1+1*			4	1

На обследуемом участке р. Дубенка русло имело однородный характер. Трофическая структура населяющего его донного сообщества имела сходные черты с родниково-ручьевыми – бедность гильдий (4 гильдии из 4 групп при отсутствии фитофагов), низкое трофическое разнообразие ( $H_{tr}=1.09$  бит/ г гильдии), отсутствие крупных хищников. Более разнообразно представлены группы детритофагов (4 вида), зоофагов (3) и хищных полифагов (3). Однако доминирующей группой в биомассе, как и в большинстве родниково-ручьевых сообществ, являлись «мирные» полифаги гильдии фитодетритофагов собирателей (75.9%), представленными единственным ручьевым видом *K. acuta*. Второстепенными были зоофаги (15.7% биомассы), представленные п/сем. *Tanurodinae*, при доминировании *Macropelopia nebulosa* (12.9%). Хищные полифаги и детритофаги составили лишь 3.4% и 4.5% биомассы. Среди первых доминирование не выражено, среди вторых доминировал *Tubifex tubifex* (3.3%). Отсутствие верховных хищников обусловило 4-уровневую трофическую структуру. Показатель конкуренции превышает единицу за счет высокого разнообразия хищничающих видов (54.5% видов), «хищная» биомасса составила 17.4%.

В трофической структуре донных сообществ р. Орлик выявлено 12 гильдий из 4 трофических групп, при отсутствии фитофагов. Наиболее разнообразны по составу гильдий зоофаги, куда входили хищники, гемофаги и эндопаразиты. Наибольшим видовым разнообразием отличались «мирные» полифаги (23 вида) и зоофаги (14). Более насыщены видами гильдии сестоно-фитодетритофагов фильтраторов+собирателей (12 видов) и сестоно-фитодетритофагов собирателей (10). Во всех сообществах лидирующие трофические группы различались: выше переката почти наравне выступали зоофаги (51.8% биомассы) и «мирные» полифаги (42.3%). На перекате доминируют «мирные» полифаги (74.1%), доля хищников снижается до 20.8%. Ниже переката «мирные» полифаги (27.3%) уступают детритофагам (57.4%), доля зоофагов снижается до 14.8%. Значение «хищных» полифагов мало – от 0.3% в рипали до 3.7% в медиали.

Среди «мирных» полифагов доминирующей гильдией во всех сообществах были сестоно-фитодетритофаги фильтраторы+собиратели, представленные 6-8 видами. В заросшей рипали доминировали брюхоногие при преобладании *B. producta* и *B. tentaculata* (21.0% и 15.5% биомассы), в медиали – хирономиды *Glyptotendipes imbecillis* (40.3%) и брюхоногие *B. decipiens* и *Planorbis planorbis* (по 11.3%), ниже переката – *B. producta* (10.5%) и *Chironomus balatohicus* (9.2%). Среди хищников выше переката преобладали пиявки *Erpobdella octoculata* (29.5%) и *Helobdella stagnalis* (16.2%), на перекате и ниже – *H. stagnalis* (20.0%-10.6%). В рипальных сообществах обнаружено по 8 видов-зоофагов, в медиали – лишь 2, но при возрастании «хищных» полифагов до 7 видов. Из «хищных» полифагов, представленных мелкими и средними формами двукрылых, более значим *Parachironomus kuzini*. Среди детритофагов доминирует *Limnodrilus udekemianus* (до 51.0% биомассы сообщества заиленной рипали).

В сообществах реки выявлено по 7–9 гильдий при трофическом разнообразии 1.52–1.95 бит/г гильдии, с максимумом этих показателей в заросшей рипали, где отмечена и наибольшая роль «хищной» биомассы – 52.0%. Доля хищничающих видов одинаково высока в рипальных сообществах (43.5–44.0% видов), что обусловило в них и высокий уровень конкуренции ( $X/M = 0.8$ ). В медиали их роль снижается до 29.0% биомассы, уровень конкуренции – до  $X/M=0.4$ . Из верховных хищников обнаружено 4 вида: 3 вида пиявок и вислокрылка *Sialis sordida* (с учетом мелкого генерализующего хищника-высасывателя *H. stagnalis*, нападающего и на мелкие хищничающие виды), по 2–4 вида в каждом сообществе. Такие показатели хищного звена свидетельствуют о

благополучии трофических структур сообществ, включающих по 5, в заросшей рипали – 6 трофических уровней. Высокая численность (в среднем 2060 экз/м<sup>2</sup>, до 4600 экз/м<sup>2</sup> в заросшей рипали) и нетипично большая доля биомассы мелких пиявок *H. stagnalis* фиксировалась и в 2008 г. Очевидно, это связано с высоким обилием мелких беспозвоночных – их потенциальных жертв, получивших массовое развитие благодаря мощной биогенной дотации – ручьевого стока, обогащенного органикой в результате гусяного выпаса на ручьевого запруде.

По сравнению с 2008 г., на изучаемом участке р. Ольшанка в окр. с. Кочегуры в 2010 г. произошли положительные изменения, связанные, на наш взгляд, с двумя факторами: прекращением аварийных сбросов воды из вышерасположенных рыбоводных прудов, и аномальной жарой лета 2010 г., что привело к повышению температуры холодноводной реки на протяжении длительного времени и позволило расширить спектр предоставляемых экосистемой ниш и возможности их освоения большим числом видов. Кроме того, фактор иссушения плеса мог способствовать «сгущению» жизни на уменьшающихся водной площади и объеме [10].

В р. Ольшанка выявлено максимальное число гильдий среди исследуемых водоемов – 14, из 5 групп. Более разнообразны зоофаги и хищные полифаги (по 4 гильдии), появляются фитофаги 3 гильдий. Максимальное видовое разнообразие отмечено среди групп зоофагов и «мирных» полифагов (по 16 видов). Наиболее насыщены видами гильдии фитодегритрофагов собирателей (14, с учетом качественных сборов – 21 вид) и зоофаги хвататели (14 (15)). Характерной особенностью трофических структур донных сообществ реки в 2010 г. явилась высокая значимость хищничающих видов. Зоофаги в бентосе составили 32.9–89.9% биомассы в сообществах переката, 13.8–30.2% – плеса, и 8.8% – в рипали ниже плеса, отсутствуя в медиали. При снижении доли зоофагов росла значимость хищных полифагов (до 51.5–65.9% на русловом участке ниже плеса). В итоге доля хищничающих видов составляла 28.6–56.3%, доля «хищной» биомассы – от 25.8% в медиали ниже плеса до 93.6% на каменистом участке переката (за счет крупных пиявок). Уровень конкуренции составлял от 0.6 в заиленной медиали до 2.5 в рипали ниже плеса. Максимальное разнообразие зоофагов отмечено в сообществах плеса (по 5–8 видов), в других сообществах – по 2–3 вида. В большинстве биоценозов обнаружены верховные хищники (1–5 видов в местах обнаружения), всего 9 видов: пиявки, паук-серебрянка и, преимущественно – насекомые (вислоккрылки, жуки плавунцы). Доминировала среди зоофагов *Erpobdella octoculata* (28–60.4% на перекате, 5.3–19.7% на плесе), в отдельных сообществах значительна роль личинок вислоккрылок р. *Sialis* (до 5.3%), жуков р. *Agabus* (до 13.5%) и *Ilybius fuliginosus* (до 9.3%), а также двукрылых *Pilaria dicsicollis* (до 8.1%). Среди хищных полифагов лидировали бокоплавы *Gammarus pulex*: от 3.2% до 60.6%, чаще в пределах 7.5–29.1% общей биомассы. Второстепенными были брюхоногие р. *Physa* (до 7.8–10.4% на плесе), личинки слепней р. *Hybomitra* (до 42.6% биомассы), ручейников р. *Hydropsyche* (до 23.9%), в меньшей мере – хирономид *P. olivacea* (до 3.8%).

Второстепенной группой были «мирные» полифаги, составившие в большинстве сообществ от 20.0% до 48.7% биомассы, с минимумом в медиали переката – от 5.4% на илах до полного отсутствия на камнях. Лидировала гильдия фитодегритрофагов собирателей (чаще 16.7–48.7%) с минимумом в медиали переката. В гильдии доминировали *A. aquaticus* (10.7–19.6% в пунктах обнаружения) и брюхоногие *Anisus hypocyrtus* (до 13.2–29.1%). На долю «мирных» фильтраторов, отмеченных в 3 из 7 сообществ, приходилось лишь 0.01–5.3% биомассы. Дегритрофаги достигают максимума на заиленном участке переката (48.7%), в меньшей мере – в медиали ниже плеса (16.2%), с минимумом в рипали выше моста и на плесе (менее 1.0%). Доминирующими видами глотателей являлись *Limnodrilus udekemianus* и *L. hoffmeisteri* (до 27.3% – 19.1% биомассы).

Фитофаги встречались в 3 сообществах, достигая максимума на плесе (до 11,7%). Наибольшее значение имели личинки радужницы р. *Donacia* и многочисленных мух-береговушек р. *Hydrellia*. Наиболее интересной находкой из альгофагов была личинка продиамезин *Odontomesa fulva*, отличающаяся специфически устроенным ротовым



аппаратом, приспособленным для активного сметания и одновременной фильтрации одноклеточных водорослей – диатомей, реже – зеленых и сине-зеленых [9].

Дополнительно, качественными орудиями лова, были обследованы специфические биотопы быстринного участка реки на сильном течении – дно водоводных труб под мостом, обросшие камни и корешки ивы. В этих реофильных, фактически, перифитонных сообществах, детритофаги отсутствовали, хищники были редки – в обрастаниях камней обитали лишь личинки мух *Limnophora riparia* (3.6%). Роль фитофагов, представленных мелкими формами альгофагов собирателей - ручейников р. *Hydroptila* и жуков *Hydraena riparia*, незначительна (0.4–0.5%). Основу биомассы составляли хищные полифаги (63.6–93.8%), представленные преимущественно всеядными собирателями+хватателями (*Gammarus pulex*, 5.7–40.5%) и планктофагами-фильтраторами+собирателями – *Hydropsyche pellucidula* (21.2–71.4%), реже – *H. contubernalis* и *H. angustipennis*, и в меньшей мере – Simuliidae (1.3–16.7%). «Мирные» полифаги наиболее значимы в сообществе на корешках ивы (36.0% биомассы, 8 видов), в других составляя 5.7–5.8% биомассы. Наиболее значительный вклад в биомассу группы в этих реофильных ценозах внесла гильдия фитодедетритофагов собирателей, что сходно в родниково-ручьевыми сообществами. Доминирующими видами гильдии на корешках ивы были: ручейники *Anabolia furcata* (27.8%), жуки р. *Eloides* (2.2%), раки *A. aquaticus* (4.1%); на обросших водным мхом и нитчаткой камнях – личинки долгоножек *Tipula lateralis* (4.1%), в водоводной трубе – личинки реофильных поденок *Baetis vernus* и *B. fuscatus* (5.2%).

Трофическое разнообразие сообществ р. Олышанка было относительно высоким в бентосе – 1.38–2.28 бит/г гильдии, снижаясь в зооперифитоне – 0.67–1.8 бит/г гильдии. В каждом из сообществ отмечено по 4–7 гильдий из 3–5 трофических групп. Число трофических уровней составляло 5 на перекате, 5–6 на плесе, 3–4(5) на русловом участке ниже плеса, в реофильном перифитоне – по 3–4 уровня. В целом сообщества восстановили свои трофические связи после их деградации в 2008 г. Наиболее оптимально структурированы по трофическим показателям бентосные сообщества плеса и заиленный участок переката, наиболее обеднен его каменистый участок.

В 3 исследуемых прудах обнаружено максимальное число гильдий их исследуемых типов водоемов – 19 гильдий из 5 трофических групп, выявлено 12 видов верховных хищников. Для пруда в балке Суры, благодаря особенностям его генезиса, характерен холодноводный режим, не позволяющий развиваться типично прудовым, более тепловодным формам – моллюскам, связанных с ними видам пиявок, многим группам насекомых крупных форм. Не получают здесь развития и мшанки, губки, турбеллярии, водяные клещи и высшие ракообразные. Это обедняет трофические структуры сообществ по сравнению с другими прудами. «Мирные» полифаги, в отличие от других прудовых сообществ, характеризующихся обилием чистых и смешанных фильтраторов средних форм – двустворчатых и переднежаберных брюхоногих моллюсков, представлены здесь мелкими формами смешанных фильтраторов (хирономидами р. *Chironomus*, появившимися в 2010 г. рр. *Glyptotendipes*, *Einfeldia* и др.), получившими в 2010 г. максимальное развитие по сравнению с 2006–2008 гг.

Всего в балочном пруде выявлено 9 гильдий из 5 трофических групп: 7 видов зоофагов, 8 – хищных полифагов, 23 вида «мирных» полифагов, 7 – детритофагов (по 2 гильдии), 1 вид фитофагов. Наиболее насыщены видами гильдии сестонофитодетритофагов фильтраторов+собирателей (17 видов), менее разнообразны всеядные собиратели+хвататели (7), хищники-хвататели, фитодедетритофаги собиратели, детритофаги глотатели (по 6 видов). Другие гильдии представлены каким-либо единственным видом.

Трофическое разнообразие сообществ не достигало 2.0 бит/ г гильдии, снижаясь от вершинного к приплотинному участку. Однако оно возросло с 0.6–1.4 бит/г гильдии при 3-4-уровневой структуре в 2008 г. до 1.0-1.8 бит/ г гильдии в 2010 г., при этом 2 сообщества из 7 обследуемых имели 5-уровневую трофическую структуру. В сообществах вершинного участка выявлено по 6–7 гильдий, в центре – от 3–7 в литорали до 8 в профундали, в приплотинном – по 4–6 гильдий. Число трофических групп было также выше в вершинном участке (4-5), в приплотинном – по 4 группы в сооб-

ществе. Обедненными были сообщества литорали центрального участка – по 3 группы, при этом в профундали – 5. Впервые за исследуемый период с 2006 г. в зообентосе появилось 2 вида верховных хищников – пиявки *E. octoculata* и личинки жуков-плавунцов, единично отмеченных в отвержке вершинного участка и у рогозовой ассоциации приплотинного участка. Уровень конкуренции, кроме самого вершинного пункта водоема ( $X/M=0.9$ ), был низким (0.2–0.6, преимущественно 0.4–0.5). Доля хищничающих видов высока за счет разнообразия хищных полифагов, с тенденцией ее снижения в литоральных сообществах от вершинного к приплотинному участкам – 38.9–47.4% в вершинной части, 30.0–33.3% в центре и 26.7–27.8% в приплотинном (в профундали – 19.0%). Показатели «хищной» биомассы нестабильны: в вершинной части – от 52.6% в отвержке до 14.5% в зоне разбавления, в литорали центрального участка – 25.9–38.9%, в профундали – лишь 4.2%, в приплотинном участке – от 39.6% у рогозовой ассоциации до 7.1% в зоне разбавления. Отмечена тенденция снижения уровня хищничества в зонах сильного фильтрационного процесса. В связи с этим следует отметить, что в них окраска воды имела яркий сиренево-фиолетовый оттенок, возможно, связанный с высокой концентрацией соединений марганца.

Наиболее значимыми трофическими группами водоема в 2010 г. были полифаги. Хищные полифаги доминировали в отвержке вершинного участка, левобережье центрального и у рогозовой ассоциации приплотинного участка. Доминирующей гильдией были всеядные собиратели, у рогозовой ассоциации – всеядные соскребатели. Среди видов группы доминировали *Lymnaea psilia* (49.1% в отвержке балки, 70.3% у рогозовой ассоциации), клопы *Sigara striata*, хирономиды р. *Prosilocerus* (до 40.8% и 77.8% в право- и левобережье центра). «Мирные» полифаги доминировали в зонах разбавления вершинного и приплотинного, в правобережье и профундали центрального участков (53.1–68.5% в литорали и 91.8% в профундали). Превалировала гильдия сестоно-фитодетритофагов фильтраторов+собирателей за счет массового развития хирономид при доминировании в профундали *Glyptotendipes barbipes* (38.2%) и *Chironomus luridus* (28.0%), в рипали – *Einfeldia carbonaria*, *Chironomus riparius*, *Ch. dorsalis*, *Ch. pseudothummi*, *Camptochironomus tentans* (до 22.5%). В гильдии фитодетритофагов собирателей лидировали поденки *Cloeon* gr. *dipterum* (11.1% в левобережной литорали).

Зоофаги наиболее значимы в отвержке вершинного участка – 27.4%, в других сообществах – лишь 1.5–5.0%, при отсутствии в левобережье центра (в 2008 г. максимум для зоофагов составил 19.4%). Доминировала гильдия хищников-хватателей. Лидировали в отвержке пиявки *E. octoculata*, в 3 сообществах по всей акватории – таниподины *Tanypus punctipennis*, в зоне разбавления приплотинного участка – *Psectrotanypus varius*. Обилие детритофагов, по сравнению с предшествующими годами (когда их биомасса составляла преимущественно 50.7–80.8% с минимумом – 20.9%), значительно снижено – 9.0–19.1% биомассы в литорали, при отсутствии в правобережье центра, и 1.0% – в профундали. Такая резкая (кратная) редукция группы олигохет тубифицидного комплекса, на наш взгляд, связана с биоценотической перестройкой на уровне растительного компонента экосистемы – вместо массового развития рдеста гребенчатого в условиях жаркого лета по всей акватории распространились харовые, что могло способствовать ухудшению качества кормовой базы основной гильдии – детритофагов глотателей. Произошла и смена доминантов гильдии. Вместо монодоминанта *Potamothrix hammoniensis* лидирующими видами детритофагов становятся *Limnodrilus hoffmeisteri* (0.4–6.7% в различных сообществах) и *Tubifex tubifex* (0.3–11.8%). Это произошло на фоне повышения значимости хищных полифагов (за счет роста обилия ортокладиин р. *Prosilocerus* и появления брюхоногих р. *Lymnaea*), и возрастания роли смешанных фильтраторов (за счет массового развития хирономид р. *Chironomus* и появившихся рр. *Einfeldia*, *Endochironomus* и *Glyptotendipes*). Фитофаги гильдии жующих (преимагинальные стадии мух-береговушек р. *Hydrellia*) отмечены лишь в зоне разбавления вершинного и профундали центрального участков, где их биомасса была незначительна (0.4–0.5%).

Пруд на р. Дубенка у с. Успенка в 2010 г. был обезвожен почти по всей площади, остались лишь немногочисленные водные линзы 30×10 м вдоль русла реки, ос-



тальная часть бывшей акватории характеризовалась сплошным зарастанием рогозовыми и смешанными ассоциациями. В зообентосе 3 исследуемых пунктов выявлено 12 гильдий из 5 трофических групп: зоофаги – 3 гильдии, хищные полифаги – 4, «мирные» полифаги – 2, детритофаги – 2, фитофаги – 1 с единственным видом (кувшинковая огневка *Elophila nymphaeata*). Наибольшим видовым разнообразием отличались зоофаги (10 видов) и «мирные» полифаги (8). По сравнению с прудом в балке Суры, повышается уровень хищничества за счет появления гильдий хищников-высасывателей и гемофагов пойкилотермных, из хищных зоофагов – гильдии сапро- и фито-зоофагов, возрастает разнообразие верховных хищников. Наиболее насыщены видами гильдии зоофагов и фитодетритофагов собирателей (по 7 видов). По сравнению с 2008 г., повысилось разнообразие хищников и детритофагов, среди «мирных» полифагов произошла смена основной гильдии: смешанных фильтраторов в 2008 г. на собирателей в 2010 г.

Трофическое разнообразие прудовых сообществ в вершинной части различалось вдвое – от 1.1 бит/г гильдии при впадении речных вод из-под дамбы до 2.2 бит/г гильдии в литорали, в центральной части пруда – 1.62 бит/г гильдии. Число гильдий было стабильным – от 5 при впадении реки до 6 в литоральных сообществах, число трофических групп – от 3 до 5. Благодаря обитанию здесь 5 видов верховных хищников (3 вида пиявок, паук серебрянка, стрекоза р. *Leucorrhinia*, личинки жуков-плавунцов), 1 из них – в устьевом сообществе, по 2–3 в литоральных, трофические пирамиды зообентоса литорали имели 5-уровневую структуру, в устье – 4 уровневую. По уровню хищничества и конкуренции выделяется литораль вершинного участка (0.8), где отмечены максимальная доля хищничающих видов (46.2%), как и доля их биомассы (61.5%). В других сообществах конкуренция одинаково низкая ( $X/M=0.5$ ), при равной доле хищничающих видов (33.3–33.4%), но доля «хищной биомассы в устьевом участке минимальна – 5.7%, а в литорали центрального участка сопоставима с вершинным – 51.5%. Исходя из данных показателей, наиболее благополучна трофическая ситуация в литорали вершинного участка, наименее – его устьевая зона, где при смешивании речных и прудовых вод трофические структуры постоянно находятся в стадии становления из-за ухода реофильных компонентов.

Во всех пунктах доминантные группы были различны. В устьевом сообществе абсолютно доминировали «мирные» полифаги (92.5%) при превалировании гильдии сестоно-фитодетритофагов фильтраторов+собирателей (76.7%) за счет двустворчатых *Amesoda scaldiana*. В литорали вершинного участка основу биомассы составляли зоофаги (58.1%) при доминировании пиявок рр. *Glossiphonia*, *Erpobdella* и паука *Argyroseta aquatica*. Второстепенной группой были «мирные» полифаги с единственной гильдией фитодетритофагов собирателей 5 видов. Преобладала биомасса брюхоногих рр. *Segmentina nitida* и *Anisus vortex*. В литорали центрального участка ведущую роль играли хищные полифаги гильдии всеядных соскребателей – *Lymnaea ovata* (62.1%). Второстепенными были зоофаги – *E. octoculata* (14.0%) и *L. rubicunda* (6.2%). Роль мирных полифагов минимальна (6.6%), при максимальном уровне детритофагии за все годы исследований – 10.9%. Среди детритофагов доминируют *L. udekemianus* и *L. hoffmeisteri* (4.7% и 3.5%).

При наблюдаемом обогащении трофических гильдий и групп, вследствие резкой фрагментации участков пруда и дифференциации условий обитания донных сообществ в связи с их дегидратацией в условиях жаркого лета 2010 г., наблюдается нестабильность значений для различных групп в сообществах, ранее характеризовавшихся большей однородностью показателей (за счет высокого обилия *Amesoda scaldiana*): зоофаги в различных прудовых сообществах составляли 5.7–58.1% биомассы, хищные полифаги – 0–62.1%, «мирные» полифаги – 6.6–92.5%, детритофаги – 1.8–10.9%, фитофаги – 0–8.7%.

В пруде на р. Орлик у с. Богословка на фоне резкого повышения разнообразия зообентоса по сравнению с другими прудами (в 1.5–1.6 раза), также выявлено 12 гильдий из 5 трофических групп, по 5–9 гильдий в сообществе с минимумом в профундали и максимумом в открытой литорали. При этом возросло число верховных хищников (8 видов) – от 1 в профундали до 5 видов в открытой литорали: 1 вид пиявок, 3 вида



стрекоз, 2 вида клопов и 2 – вислоккрылок. Трофическое разнообразие находится в более узком интервале значений, чем в пруде на р. Дубенка – от 1.30 бит/г гильдии в защищенной до 1.73 бит/г гильдии в открытой литорали. В водоеме проявляется высокое видовое разнообразие группы «мирных» полифагов (28 видов), сходное с прудом в балке Суры, но при резком возрастании разнообразия зоофагов (19 видов) – максимальным среди исследуемых водоемов. Усиление хищного звена в литорали проявляется на показателях конкуренции ( $X/M=0.7$  по сравнению с 0.5 в профундали), доле хищничающих видов (40.0–41.3% и 33.3%) и доле «хищной» биомассы (54.7–65.5% и 19.7% соответственно). Во всех сообществах выявлено по 5 трофических уровней, в открытой литорали, благодаря богатству комплекса верховных хищников, возможен 6-й.

Наиболее насыщены видами гильдии хищников хватателей (18 видов), сестоно-фитодетритофагов фильтраторов+собирателей (16), менее разнообразны фитодетритофаги собиратели (10) и детритофаги глотатели (8). По сравнению с другими прудовыми экосистемами, здесь появляются эктопаразиты насекомых (личинки водяных клещей), всеядные собиратели (брюхоногие р. *Planorbarius*), планктофаги фильтраторы (мшанка *Plumatella emarginata*) и сестоно-фитодетритофаги фильтраторы (*Pisidium amnicum*), а также происходит усиление разнообразия всеядных соскребаателей (р. *Lymnaea*).

Доля зоофагов составляла 15.2–65.5% с максимумом в защищенной литорали, хищных полифагов – 0–79.0% с максимумом в открытой, при отсутствии в защищенной литорали, «мирных» полифагов – 3.6–67.8% с максимумом в профундали, детритофагов – 0.2–12.4% с максимумом в профундали, фитофагов – 0.3% в открытой литорали.

В открытой литорали, у зарослей погруженных макрофитов, доминировали хищные полифаги, представленные 9 видами, преимущественно за счет гильдии всеядных собирателей+хватателей (57.0% биомассы) и всеядных соскребаателей (21.6%). Второстепенной была группа зоофагов (15.2% биомассы), представленная 10 видами хищников хватателей. Менее значимы «мирные» полифаги (3.6% биомассы), детритофаги (1.9%) и фитофаги (жуки р. *Halipus*, ручейники). В защищенной литорали главную роль играли зоофаги 8 видов (65.5% биомассы сообщества), второстепенную – «мирные» полифаги (34.3%). Доля детритофагов минимальна – 1 вид, 0.2% биомассы. В профундали, на тонкодисперсных илах, основной поток энергии сообщества проходит через «мирных» полифагов (67.8%) преимущественно из гильдии сестоно-фитодетритофагов фильтраторов +собирателей (66.3%) – хирономин рр. *Einfeldia*, *Chironomus* и *Endochironomus*. Зоофаги и детритофаги формировали по 19.5% и 12.4% биомассы сообщества.

Доминирующими видами среди зоофагов были стрекозы *Libellula depressa* (9.4%–36.8%), клопы *Ilyocoris cimicoides* (2.2–7.2%), *Ranatra linearis* (11.6%) в литорали, вислоккрылки *Sialis sordida* (9.6%) в профундали. Среди хищных полифагов наиболее значимы *Lymnaea tumida* (7.4%), *L. ovata* (12.9%), *Planorbarius pinguis* (28.3%), *P. adeloides* (28.7%) в открытой литорали. Из «мирных» полифагов в открытой литорали более значимы моллюски рр. *Amesoda*, *Musculium*, *Euglesa*, *Cincinna*, *Anisus*, без выраженного доминирования. В защищенной литорали лидировали *Cincinna depressa* (21,1%) и *Planorbis planorbis* (5,0%), в профундали – *Einfeldia carbonaria* (50.3%) и *Chironomus balatonicus* (8.5%). В группе детритофагов преобладал *L. hoffmeisteri* (до 9.6% в профундали). Из фитофагов более значима доля видов р. *Halipus*.

Наиболее обеднена трофическая структура зообентоса гидроотвала ЛГОКа – по дночерпательным пробам выявлено лишь 2 гильдии из двух групп, по 1 гильдии к каждой станции. Из-за единичной представительности видов и (или) особей в несформировавшихся зооценозах, анализ трофической структуры не проводился. В бентосе северной части гидроотвала присутствовал хищный вид таниподин, в северо-восточной части – личинки и куколки мокрецов гильдии фитодетритофагов собирателей. С учетом качественных сборов, выявлено 6 гильдий из 5 групп. Зоофаги представлены 2 гильдиями, с присутствием верховного хищника *Ischnura elegans*, в других группах – по 1.



### Заключение

В трофических структурах макрозообентоса 11 водоемов в 30-км зоне влияния ЛГОКа в 2010 г. выявлено 24 гильдии из 5 трофических групп: зоофаги, хищные полифаги «мирные» полифаги, детритофаги, фитофаги. В прудах выявлено 19 гильдий, в малых реках – 17, в родниках и ручьях – 8, гидроотвале ЛГОКа – 2.

Наиболее обеднена трофическая структура зообентоса гидроотвала ЛГОКа – 2 гильдии по количественным пробам (с учетом качественных сборов имаго – 6).

Для сукцессионно молодых родниково-ручьевых сообществ характерно низкое трофическое разнообразие, при его увеличении от истока к устью. Преобладающими группами в балке Суры были зоофаги, в других родниковых ручьях – «мирные» полифаги гильдии фитодетритофагов собирателей. По мере удаления от ЛГОКа наблюдался рост числа гильдий и групп: в 10-км зоне прибавились фитофаги, в 20-км – детритофаги. Разнообразие верховных хищников минимально среди исследуемых водоемов (2 (4) вида).

В речных экосистемах, по сравнению с ручьевыми, наблюдалось повышение трофического разнообразия, увеличение числа гильдий и видов верховных хищников, возрастающих по мере удаления от ЛГОКа. Максимально разнообразно представлены «мирные» полифаги и зоофаги. Наиболее обедненной является трофическая структура сообщества р. Дубенка, где доминировали «мирные полифаги», наиболее благополучно сформированы структуры р. Ольшанка, в которой оптимальные показатели отмечены в сообществах плеса и заиленном участке переката. В большинстве сообществ лидировали хищные полифаги. В р. Орлик все сообщества различались: в заросшей рипали доминировали зоофаги с «мирными» полифагами, в заиленной – детритофаги, в медиали – «мирные» полифаги.

В прудовых экосистемах происходит незначительное наращивание числа гильдий за счет «хищных» полифагов и детритофагов, растет число верховных хищников (в том числе по мере удаления от ЛГОКа); высокое разнообразие «мирных» полифагов и зоофагов сходно с реками, трофическое разнообразие имеет сходные значения, с понижением минимума и максимума. Наиболее неблагоприятна трофическая ситуация в балке Суры, и оптимальна в пруде на р. Орлик. В балке Суры в 2010 г., в связи с повышением летних температур, повлекших смену растительного покрова, произошла замена лидирующей все предшествующие годы группы детритофагов (гильдии глотателей) на «мирных» и «хищных» полифагов, число гильдий возросло на треть, появилась группа фитофагов, в 2 сообществах выявлены верховные хищники из пиявок и жуков, повысилось трофическое разнообразие сообществ. Характерной особенностью трофической структуры пруда является слабое разнообразие и роль зоофагов, при преимуществе хищных полифагов с малым числом гильдий и массового развития «мирных» полифагов мелких форм. В пруде на р. Дубенка, в результате его иссушения на основной площади, проявилась смена как трофических групп (лидирующие ранее «мирные» полифаги в литорали уступают либо зоофагам, либо хищным полифагам), так и замена лидирующей гильдии внутри группы (в вершинной части пруда – смешанных фильтраторов на собирателей). В пруде на р. Орлик в открытой литорали доминировали хищные полифаги, в защищенной – зоофаги, в профундали – «мирные» полифаги.

Во всех типах водоемов в большинстве случаев, при отсутствии облигатных хищников либо снижении доли их биомассы, возрастает роль и (или) разнообразие хищных полифагов.

Благодарности: автор выражает глубокую благодарность А.С. Шаповалову за организацию и проведение экспедиционных работ, сотрудникам заповедника за помощь в отборе проб, сотруднику биоцентра ВГУ, к.б.н. А.А. Прокину за проверку и определение жуков и клопов.

### Список литературы

1. Силина А.Е., Прокин А.А. Изменение трофической структуры донных сообществ в сукцессионном ряду водоемов Усманского бора // Трофические связи в водных сообществах и

экосистемах: матер. Междунар. конф., 28-31 окт. 2003 г. – Борок: ИБВВ РАН, 2003. – С. 113–114.

2. Прокин А.А., Силина А.Е. Материалы к изучению террасных водоемов Усманского бора (Ш): макрозообентос // Тр. Воронежского гос.о заповедника. Вып. XXIV. – Воронеж: ВГПУ, 2007. – С. 300–368.

3. Силина А.Е., Прокин А.А. Трофическая структура макрозообентоса болотных водоемов лесостепной зоны Среднерусской возвышенности // Биология внутренних вод, – М.; Наука, 2008. – № 3. – С. 35–44.

4. Силина А.Е., Костылев И.Н. Влияние Лебединского ГОКа на донные зооценозы водоемов 10-километровой зоны // Научные ведомости БелГУ. Сер. Естественные науки. – 2008. – Вып.6. – №3 (43) – С. 81–95.

5. Жадин В.И. Методы гидробиологического исследования. – М., 1960. – С. 33–72.

6. Pimm S.L., Lawton J.H., Cohen J.E. Food web patterns and their consequences (a review) // Nature. – 1991. – Vol. 49. – P. 337–342.

7. Монаков А. В. Питание пресноводных беспозвоночных – М.: ИПЭЭ РАН, 1998. – 320 с.

8. Извекова Э.И. Питание и пищевые связи личинок массовых видов хирономид Учинского водохранилища. – Автореф...канд. биол. наук. – М., 1975. – 20 с.

9. Шилова А.И. Хирономиды Рыбинского водохранилища. – Л., 1976. – 251 с.

10. Залетаев В.С. Экологически дестабилизированная среда: (Экосистемы аридных зон в изменяющемся гидрологическом режиме). – М.: Наука, 1989. – 150 с.

## **TROPHIC FRAME OF ASSEMBLAGES OF THE MACROZOOBENTHOS OF RESERVOIRS IN 30-KM REGION OF LEBEDINSKY GOC INFLUENCE**

**A.E. Silina**

*Reservation «Belogorje»  
Monastyrskiy L., 3, Borisovka Settl.,  
Belgorod Reg., 309342, Russia*

*E-mail: allasilina@list.ru*

In the article the results of studying of trophic frame of the macrozoobenthos of 11 reservoirs in 30-km zone of influence of Lebedinsky MCC in 2010: 4 streams and springs, 3 small rivers, 3 ponds and hydraulic mine dump of LMCC in the Belgorod Region are presented. The role of trophic bunches and guilds is analysed, relative analysis of a trophic diversity, frame of bottom-dwelling assemblages and allocation of predominant bunches and species from various guilds in hydrobiocenoses in the conditions of KMA in Central Russian Upland is carried out. Relative analysis on separate indicators of 2010 and 2008 is given.

Key words: the macrozoobenthos, a water ecosystem, trophic frame, guilds, a trophic diversity, bottom-dwelling assemblages.



## ПОКАЗАТЕЛИ ПОЛОВОЙ СТРУКТУРЫ НАСЕКОМЫХ В СИСТЕМЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА (НА ПРИМЕРЕ ПРИРОДНЫХ ПОПУЛЯЦИЙ КЛОПА-СОЛДАТИКА (*PYRRHOCORIS APTERUS* L.))<sup>1</sup>

**И.В. Батлуцкая**<sup>1</sup>

**О.А. Маканина**<sup>1</sup>

**Л.В. Зимовина**<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Белгородский государственный национальный исследовательский университет  
Россия, 308015,  
г. Белгород, ул. Победы 85  
E-mail: bat@bsu.edu.ru

<sup>2</sup> Белгородская государственная сельскохозяйственная академия  
им. В.Я. Горина  
Россия, 308503, Белгородская обл.,  
Белгородский р-н, п. Майский, ул. Вавилова, 1  
E-mail: zimovina@inbox.ru

В статье представлены результаты шестилетнего изучения показателей половой структуры популяций клопа-солдатика, населяющего различные биотопы Белгородской области. Показано, что изменение структурного показателя половой структуры отражает общее состояние популяции в каждый отрезок времени. Анализ особенностей половой структуры популяций клопа-солдатика позволил выявить значимое в экологическом мониторинге соотношение разнополых особей клопа-солдатика.

Ключевые слова: клоп-солдатик, половая структура, адаптационная стратегия, мониторинг.

### Введение

Половая структура популяций наряду с возрастной является важнейшим показателем популяционной стабильности. Во многих случаях картина полового состава популяций насекомых принципиально отличается от таковой у позвоночных животных.

Вариации в соотношении полов у насекомых имеют большое экологическое значение. В популяциях, находящихся в состоянии депрессии, целесообразно выживание прежде всего самцов, несущих ту же часть генофонда, что и самки, но требующих для своего развития меньше питания. Кроме того, самцы обычно отличаются большей способностью к миграциям и, следовательно, находят более благоприятные условия [1].

Структура популяции отражает результат реагирования организмов не только на отдельные загрязнители, а на весь комплекс средовых воздействий определенными реакциями организма в целом [2].

Соотношение полов в популяциях насекомых из различных биотопов имеет значение экологического показателя, поскольку его динамика носит регуляционный характер и отражает общее состояние популяции в определенный отрезок времени [3].

Цель исследования – анализ особенностей половой структуры популяций клопа-солдатика (*Pyrrhocoris apterus* L.) из различных биотопов Белгородской области. Задачи исследования: 1) изучить динамику сезонных показателей половой структуры популяций клопа-солдатика из различных биотопов Белгородской области; 2) выявить значимые в экологическом мониторинге показатели половой структуры популяций клопа-солдатика.

Выделен биотоп с условной экологической нормой состояния окружающей среды, занимаемый локальной популяцией «№ 15», на территории хутора Раевка Корочанского района Белгородской области. Ближайшее промышленное предприятие находится в 27 км от места проведения популяционных выборок, автодорога проходит в

<sup>1</sup> Работа выполнена в рамках ГК № 14.740.11.0956 от 29.04.2011 г.

4 км. На территории хутора Раевка отсутствует активное транспортное движение. Последние масштабные строительные работы проводились в 1970 г.

Остальные территории, на которых проводились популяционные выборки, распределены на группы со слабым и средним уровнями антропогенного воздействия (АВ) применительно к климатическим и экологическим характеристикам Белгородской области.

### Материал и методика

В качестве объекта исследования был использован широко распространенный клоп-солдатик (*Pyrhocoris apterus* Linnaeus, 1758). Материал, представленный в данной статье, включает выборки из локальных популяций клопа-солдатика, произведенные в Белгородском, Алексеевском, Старооскольском и Корочанском районах Белгородской области, в период с 2005 по 2011 год. Всего проанализировано более 9000 половозрелых особей: Белгородский район – 2135 особей. Алексеевский район – 3635 особей, Старооскольский район – 2609 особей, Корочанский район – 696 особей. Авторами использован комплекс общепринятых методик, включающих в себя полевые наблюдения и камеральную обработку материала.

### Результаты и их обсуждение

Половая структура популяции клопа-солдатика не остается постоянной, она имеет сложную динамику. На основании наших наблюдений и анализа результатов обработки популяционных выборок предположили, что у клопа-солдатика, возможно, имеют место две основные адаптационные популяционные стратегии. Действие комплекса приспособительных реакций осуществляется одновременно, но каждая, из них доминирует в различные периоды существования одних и тех же популяций. Первая, обусловленная климатическими факторами, направлена на приспособление к сезонным условиям среды. Эти показатели, по мнению авторов, не могут использоваться при анализе действия антропогенной нагрузки. Вторая, вызванная комплексом средообразующих факторов, среди которых доминируют региональные, является ответной реакцией популяции на степень урбанизации среды. В этой связи считаем, что для экологического мониторинга биотопов наиболее информационно-значимыми являются данные по половой структуре популяций, полученные при изучении летних выборок. Наши наблюдения показали, что для описания изменчивости половой структуры клопа-солдатика, обусловленной действием антропогенных факторов (на территории Белгородской области), необходимо анализировать материал популяционных выборок, собранных в середине летнего периода, во временном интервале с 20 июля ( $\pm 5$  дней) по 25 августа ( $\pm 5$  дней).

Динамика половой структуры популяций клопа-солдатика, места обитания которых испытывают разный уровень антропогенного воздействия, представлена по сезонам. Соотношение полов в весенний период представлено на рисунке 1, где видно, что в большинстве выборок соотношение полов близко 1:1. Но в некоторых выборках наблюдается численное преобладание самцов над самками, что возможно свидетельствует о реакции популяции на резкое колебание температур весной.

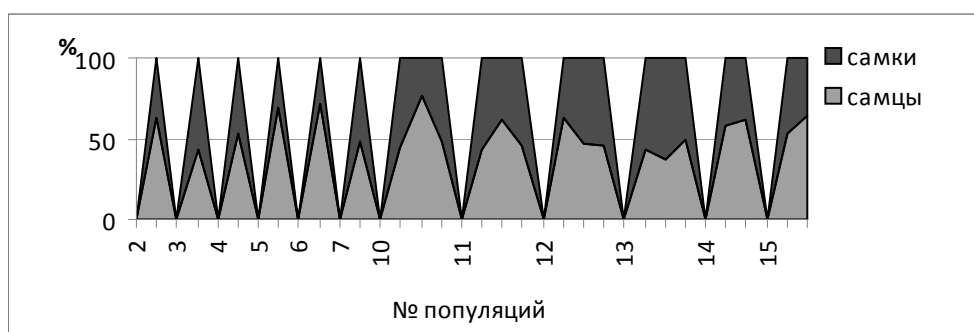


Рис. 1. Соотношение полов в весенних выборках клопа-солдатика в период с 2005 г. по 2011 г.

Достоверное преобладание самцов выявлено в выборках из популяций №№ 2, 5, 6, 10, 15 (рис. 2). Доля самцов (р) в этих популяциях составляет: № 2 (выборка № 4) –

0.63); № 5 (выборка № 2) – 0.69); № 6 (выборка № 4) – 0.72); № 10 (выборка № 3) – 0.77); № 15 (выборка № 4) – 0.64).

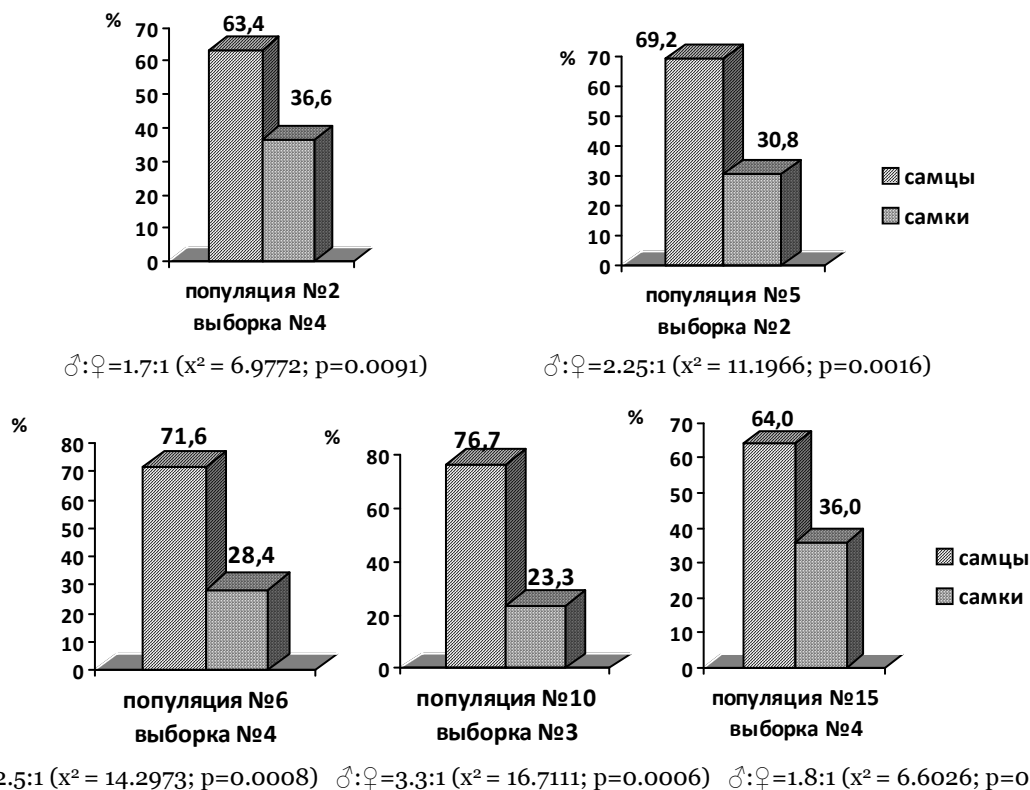


Рис. 2. Процентное соотношение самок и самцов клопа-солдатика в весенних выборках из локальных популяций № 2, 5, 6, 10, 15 в период с 2005 г. по 2011 г.

Данное явление мы связываем с разной смертностью разнополых особей при резких колебаниях температуры в весенний период. Для самок характерен более высокий уровень метаболизма. В связи с этим они раньше выходят из диапаузы [4]. Температура окружающей среды в этот период колеблется в широких диапазонах от положительной к отрицательной в течение суток. Вышедшие из диапаузы самки наиболее подвержены резкому снижению температуры. Поскольку самцы обладают более низким уровнем метаболизма, они выходят из диапаузы в период, когда стабилизировалась положительная температура. В данном случае реакция популяционного гомеостаза идет в опережение срезовых показателей. Популяция, как самовоспроизводящаяся система, отреагировала численным преимуществом самцов. Каждый самец, прошедший отбор экологическими условиями может оплодотворить последовательно несколько самок, число которых в следующие периоды будет возрастать, что способствует быстрому восстановлению численности для обеспечения устойчивого существования популяции.

Летом соотношение полов выравнивается и становится близким 1:1, за счет активного размножения (рис.3).

Из рисунка 3. следует, что в большинстве выборок наблюдается соотношение полов, близкое к 1:1. В отдельных выборках из популяций №№ 6, 8, 11 зафиксировано достоверное преобладание самцов над самками (рис. 4). Данные популяции обитают на территориях с неблагоприятной экологической обстановкой. Доля самцов (р) в этих популяциях составляет: № 6 (выборка № 3) – 0.63, № 8 (выборка № 1) – 0.65); № 11 (выборка № 2) – 0.66).

Места обитания популяций №№ 6, 8 расположены на территории Алексеевского района, которая входит в «Чернобыльскую зону». Популяция № 11 обитает на территории Старооскольского района вблизи комплекса горнодобывающих промышленных предприятий.

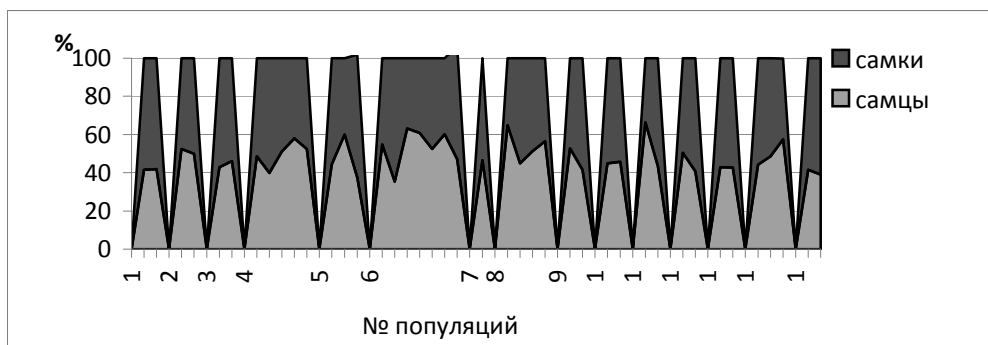
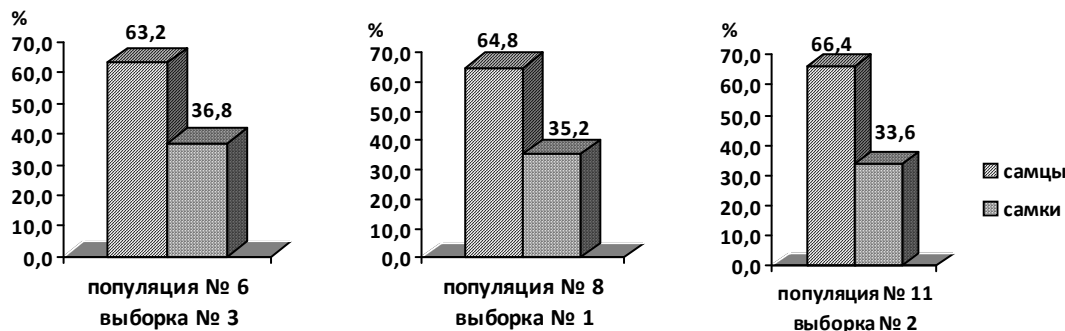


Рис. 3. Соотношение полов в летних выборках клопа-солдатика в период с 2005 г. по 2011 г.



$\text{♂}:\text{♀}=1.7:1$  ( $\chi^2 = 5.2482$ ;  $p=0.0224$ )  $\text{♂}:\text{♀}=1.8:1$  ( $\chi^2 = 5.0102$ ;  $p=0.0256$ )  $\text{♂}:\text{♀}=2:1$  ( $\chi^2 = 5.3996$ ;  $p=0.0206$ )

Рис. 4. Процентное соотношение самок и самцов клопа-солдатика в летних выборках из популяций № 6, 8, 11 в период с 2005 г. по 2011 г.

В конце лета и осенью адаптационные механизмы призваны обеспечить возможность сохранения численности популяции во время зимовки (рис. 5).

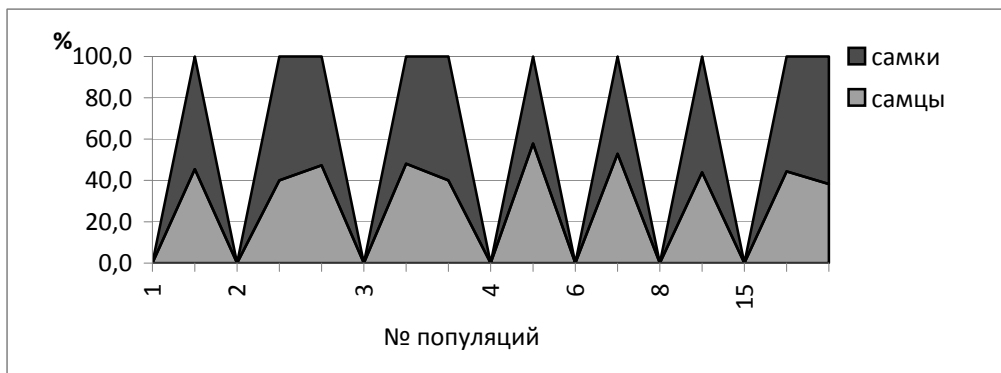


Рис. 5. Соотношение полов в осенних выборках клопа-солдатика в период с 2005 по 2011 г.

На рис. 5. видно, что половая структура популяций осеннего периода характеризуется соотношением полов близким 1:1.

Анализ сезонной динамики половой структуры природных популяций клопа-солдатика показал, что весной наблюдается достоверное преобладание самцов в выборках из популяции, условия обитания которой приняты за условную ному, а также популяций, подверженных разному уровню антропогенного воздействия. Летом соотношение полов выравнивается и становится близким 1:1. Однако, в популяциях, подверженных действию среднего уровня АВ, зафиксировано достоверное преобладание самцов. В осенний период популяции клопа-солдатика стремятся поддерживать оптимальное соотношение полов – 1:1.



### Заключение

Резюмируя полученные данные, можно сделать следующее обобщение: смещение соотношения полов в сторону преобладания самцов с 1.7:1 и более (при  $p \leq 0.05$ ) в летних выборках свидетельствует о том, что состояние популяции в данный, конкретный момент времени характеризуется неустойчивой половой структурой, что отражает действие неблагоприятных условий существования популяций клопа-солдатика, близких к экстремальным. Обнаруженное смещение в соотношении полов мы связываем с адаптационной стратегией популяции клопа-солдатика, направленной на сохранение самцов. Данное явление можно объяснить тем, что самцы несут ту же часть генофонда, что и самки, но, обладая меньшими размерами, требуют для своего развития меньшего количества пищи. Таким образом, самцы выступают для популяции наиболее экономичным вариантом сохранения генофонда в экстремальных ситуациях [5].

На основании проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

Динамика сезонных показателей половой структуры природных популяций клопа-солдатика из различных биотопов выглядит следующим образом. В весенний период в большинстве выборок зафиксировано преобладание самцов. Летом соотношение полов выравнивается и становится 1:1. В осенних выборках значимых изменений в соотношении полов 1:1 не обнаружено.

Значимыми в экологическом мониторинге являются показатели половой структуры популяций клопа-солдатика летних выборок. Смещение соотношения полов в сторону преобладания самцов с 1.7:1 и более ( $r_{сам} \geq 0.63$  при уровне значимости  $p \leq 0.05$ ) в летних выборках свидетельствует о том, что состояние популяции в данный, определенный момент времени характеризуется неустойчивой половой структурой, что отражает действие неблагоприятных условий существования популяций клопа-солдатика, близких к экстремальным.

### Список литературы

1. Чернышев В.Б. Экология насекомых. – М.: Изд-во МГУ, 1996. – С. 51–57.
2. Батлутская И.В. Изменчивость меланизированного рисунка насекомых в условиях антропогенного воздействия.: учеб. – метод. пособие. – Белгород, 2003. – 168 с.
3. Брехов О.Г. Соотношение полов и размеры самцов и самок плавунца *Laccophilus roeicilus* Klug 1834 в водоемах Волгоградской области как показатель антропогенной нагрузки // Природные ресурсы Забайкалья и проблемы природопользования. – Чита, 2001. – С. 478-479.
4. Hodkova, M. Honek I. Temperature regulation of supercooling and gut nucleation in relation to diapause of *Pyrrhocoris apterus* (L.) (Heteroptera) // Cryobiology. 1997. Vol. 34, N 1. P. 70-79.
5. Злотин А.З. Теоретическое обоснование массового разведения насекомых // Энтомолог. обозр. – 1981. – Т. 60, № 3. – С. 494-510.

## INDICATORS OF SEXUAL STRUCTURE OF INSECTS IN ECOLOGICAL MONITORING SYSTEM (ON THE EXAMPLE OF NATURAL POPULATIONS OF THE RED SOLDIER BUG *PYRRHOCORIS APTERUS* L.)

**I.V. Batlutskaya**<sup>1</sup>

**O.A. Makanina**<sup>1</sup>

**L.V. Zimovina**<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Belgorod State National Research University  
Pobedy St., 85, Belgorod, 308015, Russia  
E-mail: bat@bsu.edu.ru

<sup>2</sup> Belgorod State Agricultural Academy  
named by V..Ja. Gorin,  
Vavilova St., 1, Maysky Sett., Belgorod  
Dist., Belgorod Reg., 1308503, Russia  
E-mail: zimovina@inbox.ru

The paper presents the results of the 6-year-long study of indicators of sexual structure of red soldier bug's populations taken from different biotopes in Belgorod region. The change of the structural indicator of sexual structure is shown to reflect the general condition of the population in each period of time. The analysis of features of sexual structure of red soldier bug populations has made it possible to reveal the significant correlation of individuals of different sexes of red soldier bug in ecological monitoring.

Key words: red soldier bug, sexual structure, adaptation strategy, monitoring.



## АНАЛИЗ ГЕНЕТИЧЕСКОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ПОПУЛЯЦИЙ НАЗЕМНОГО МОЛЛЮСКА *BRADYBAENA FRUTICUM* MÜLL. С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ RAPD- И ISSR- МАРКЕРОВ<sup>1</sup>

**З.А. Снегин**

Белгородский государственный  
национальный исследовательский  
университет  
Россия, 308015, г. Белгород,  
ул. Победы 85

E-mail: snegin@bsu.edu.ru

На основе метода полимеразной цепной реакции с использованием RAPD- и ISSR- маркеров ДНК проанализирована генетическая структура популяций модельного вида наземных моллюсков *Bradybaena fruticum* Müll, обитающих в условиях Среднерусской возвышенности. Дается расшифровка полученных фингерпринтов. Выделены полиморфные и мономорфные ампликоны. Определен уровень генетической изменчивости и выяснена степень оригинальности генофондов изученных популяций.

Ключевые слова: ПЦР, наземные моллюски, популяционный генофонд, Среднерусская возвышенность.

### Введение

На протяжении последних сорока лет ведутся исследования популяционной структуры кустарниковой улитки (*Bradybaena (Fruticicola) fruticum* Müll.) на территории Европы с использованием полиморфных признаков раковины и изоферментов [1–13]. Несмотря на значимость результатов, полученных в предыдущих работах, проанализирована изменчивость только кодирующей части генома, тогда как остальная часть «молчашей» ДНК осталась вне поля зрения. Настоящая работа является первой попыткой изучения внутрипопуляционной изменчивости этого вида на основе маркеров, включающих случайные участки генома, а так же тандемные повторы сателлитной ДНК.

Цель работы. На основе метода полимеразной цепной реакции с использованием RAPD- и ISSR-маркеров, оценить уровень изменчивости в популяциях *Br. fruticum* в условиях Среднерусской возвышенности.

Для сопоставления были взяты выборки из популяций, обитающих на территории Урала, Вятского региона и Румынии.

### Материал и методика

Материалом для исследования послужили образцы тканей особей *Br. fruticum*, хранящиеся в криобанке, созданном при зоологическом музее БелГУ. Выборки из популяций были сделаны во время экспедиции с 2004 по 20010 годы. Моллюски собирались вручную с поверхности почвы, со стеблей и листьев растений, иногда в подстилке. Всего было исследовано 697 особей из шестнадцати популяций. Описание пунктов сбора приведены в табл. 1.

Анализ изменчивости проводили с использованием полимеразной цепной реакции (RAPD, ISSR). В результате предварительного скрининга были выбраны три праймера, дающие наиболее хорошо выделяющиеся и воспроизводимые фингерпринты (табл. 2).

Метод RAPD. Реакцию проводили в 20 мкл смеси, содержащей 20 нг геномной ДНК, 100 мМ трис-*HCl* (pH=8.3), 500 мМ *KCl*, 2 мМ *MgCl*, 0.25 *dNTP*, 0.5 мМ праймера, 0.5 единиц *Taq* ДНК-полимеразы. Реакция проходила в следующих условиях: «горячий старт» – 2 мин/94°C, 35 циклов (денатурация – –45 с/94°C, отжиг праймера – 15 с/30°C, 15 с/45°C, синтез – 1 мин/72°C), дополнительный синтез – 10 мин/72°C, охлаждение до 4°C.

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке программы РНПВШ № 2.2.3.1/ 9731, РФФИ № 09-04-97513 р\_центр\_а., Министерства образования и науки РФ ГК П 1050.



Таблица 1

			<b>Описание пунктов сбора</b>
Регион	Пункт	N	Описание биотопа
Среднерусская возвышенность	1	11	Пойма р. Осколец, д. Стойло (Старооскольский р-н Белгородской области). Заросли ивы, в подлеске лопух и крапива. Северные окрестности территории Стойленского ГОКа.
	2	21	Заповедный участок «Ямская степь» (Губкинский район Белгородской области). Смешанный лес, заросли крапивы. Территория влияния Лебединского ГОКа и, в меньшей степени, Стойленского.
	3	22	Долина р. Оскол, дубрава возле с. Сорокино (Старооскольский р-н Белгородской области). Заросли крапивы и лопуха. Территория влияния Стойленского ГОКа, г. Ст. Оскол и, в меньшей степени, Лебединского ГОКа.
	4	65	Пойма р. Дубенка (Губкинский и Старооскольский р-ны Белгородской области). Пойменная дубрава, в подлеске крапива, лопух, хмель. Территория влияния Стойленского и Лебединского ГОКов.
	5	71	Байрачная дубрава возле с. Коньшино (Губкинский р-н Белгородской области). Заросли крапивы. Территория влияния Лебединского и, в меньшей степени, Стойленского и ГОКов.
	6	15	Пойма р. Оскол возле д. Завалищено (Старооскольский р-н Белгородской области). Заросли лопуха, борщевика и крапивы. Территория влияния Стойленского ГОКа, Оскольского электрометаллургического комбината и, в меньшей степени, Лебединского ГОКа.
	7	50	Пойма р. Короча возле с. Дмитриевка (Шебекинский р-н Белгородской области). Пойменный лес из ивы и клена, заросли крапивы.
	8	25	Заповедный участок «Стенки Изгорья» (Новооскольский р-н Белгородской области) – заболоченный биотоп, заросли ольхи, в подлеске лопух и крапива
	9	30	Памятник природы «Борки» (Валуйский р-н Белгородской области) - пойма р. Козинка, ивовый лес, заросли лопуха, крапивы и хмеля.
	10	43	«Ровеньский природный парк», участок «Айдарский». Пойма реки Айдар, окрестности пос. Ровеньки (Белгородская область). Умеренно увлажненный открытый участок. Заросли лопуха, борщевика с примесью крапивы.
Вятский регион	11	17	Пойма р. Оскол возле г. Купянск (Харьковская область). Пойменный ивовый лес.
	12	23	Историко-природный музей-заповедник «Дивногорье» (Острогожский р-н Воронежской области). Пойма р. Тихая Сосна. Лопух, крапива, хмель.
	13	54	Заповедный участок «Галичья гора» (Липецкая область). Пойма р. Дон. Заросли крапивы, борщевика, лопуха и хмеля.
Урал	14	81	Пойма р. Вятка. Территория городского парка г. Киров. Заросли крапивы и таволги.
Урал	16	84	Природный парк «Оленьи ручьи» (Свердловская область, Нижнисергинский р-н) – сосново-еловый лес с березой и лиственницей, поляна, заросли таволги, малины.
Румыния	16	85	Долина реки Олт, предгорье Трансильванских Альп возле пос. Авриг. Пойменный лес из ивы и клена, каменистый грунт, сильное увлажнение, заросли крапивы, лопуха и хмеля.

Метод ISSR. Реакцию проводили в 25 мкл смеси, содержащей 20 нг геномной ДНК, 100 мМ трис-*HCl* (*pH*=8.3), 500 мМ *KCl*, 4 мМ *MgCl*, 0.25 *dNTP*, 0.5 мМ праймера, 0.5 единиц *Taq* ДНК-полимеразы. Реакция проходила в следующих условиях: «горячий старт» – 2 мин/94°C, 40 циклов (денатурация – 30 с/94°C, отжиг праймера – 30 с/55°C, синтез – 2 мин/72°C), дополнительный синтез – 10 мин/72°C, охлаждение до 4°C.

Таблица 2

**Нуклеотидные последовательности используемых праймеров**

Метод	Праймер	Последовательность	Количество локусов
RAPD	OPF 8	5'-GGGATATCGG-3'	14
ISSR	It 1	(CA) <sub>8</sub> GT	14
	UBC 827	(AC) <sub>8</sub> G	16

Продукты ПЦР разделяли с помощью электрофореза в 2% агарозном геле с использованием TAE буфера, 100 В – 45 мин. Блоки окрашивали бромистым этидием.

По картинам электрофореза составляли бинарные матрицы, где присутствие полосы обозначалось как «1» (аллель *p*), отсутствие «0» (аллель *q*). Ввиду того, что при методе *RAPD* могут появляться неспецифические продукты амплификации, для анализа мы использовали четко просматриваемые и воспроизводимые ампликоны.

Обработка полученных данных проводилась с использованием программы GenAEx [14].

**Полученные результаты и обсуждение**

Полученные фингерпринты приведены на рис. 1, 2. На рис. 2 дается так же расшифровка полученных ДНК-паттернов по трем праймерам.

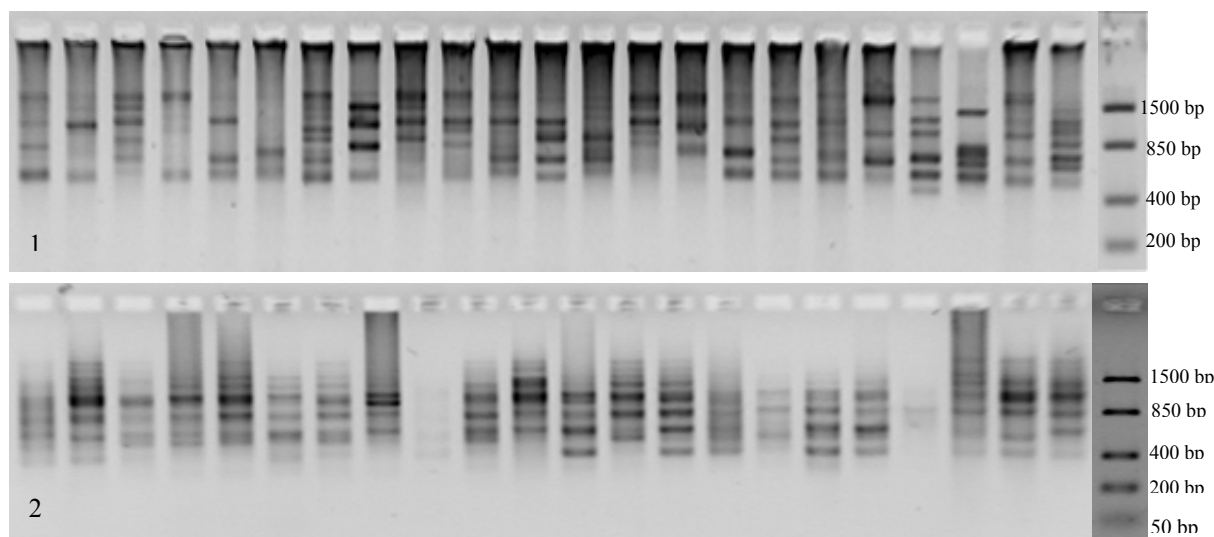


Рис. 1. ISSR–PCR спектры ДНК: 1 – праймер *It 1*; 2 – праймер *UBC 827*

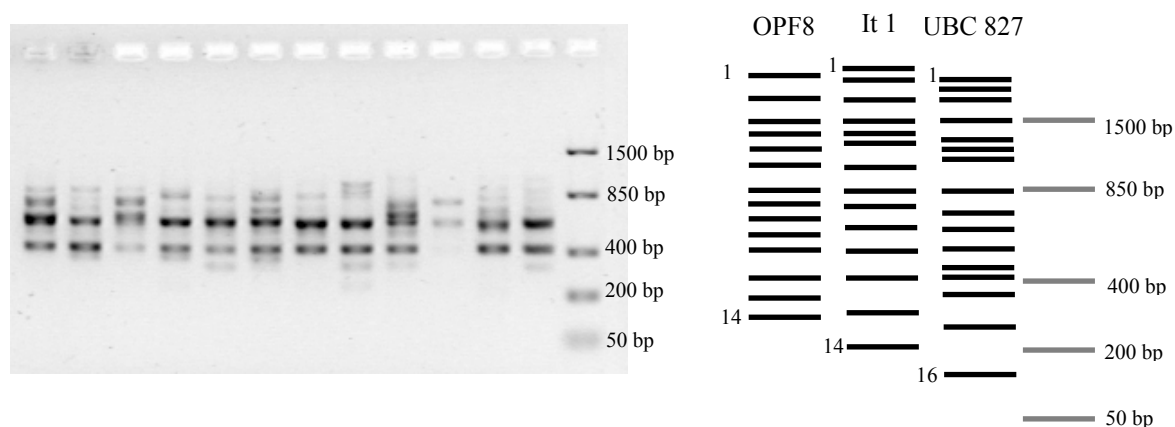


Рис. 2. Слева – RAPD–PCR спектры ДНК, праймер *OPF8*. Справа – расшифровка ДНК-паттернов по трем праймерам (номерами обозначены только первые и последние локусы)



На рис. 3 представлены уровни гетерозиготности сорока четырех локусов, вычисленные на основе анализа шестнадцати популяций. Согласно представленным данным наиболее полиморфными среди RAPD-маркеров являются локусы 3 и 7, а среди ISSR-маркеров более изменчивы оказались локусы 3, 9 и 12 по праймеру It 1, и локусы 4, 5, 8, 10 по праймеру UBC 827. В группу более мономорфных локусов вошли: по праймеру OPF 8 – локусы 1, 11 и 12, по праймеру It 1 – локусы 1, 13 и 14, по праймеру UBC 827 – локусы 2, 14, 15 и 16.

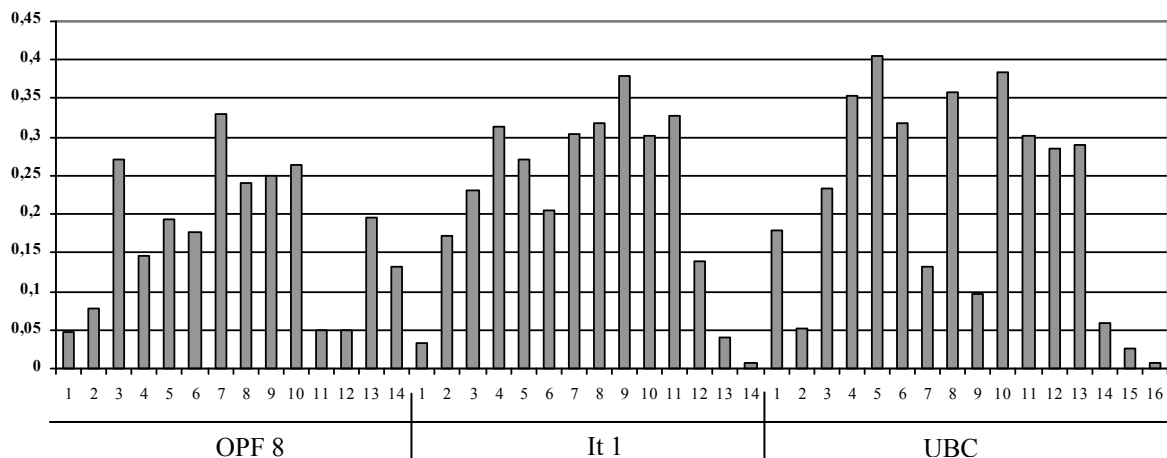


Рис. 3. Уровень гетерозиготности сорока четырех локусов (усредненные данные по шестнадцати популяциям)

Усредненные частоты аллелей и уровни гетерозиготности для исследуемых популяций, вычисленные по различным праймерам представлены в табл. 3. Согласно полученным данным уровень гетерозиготности популяций по различным праймерам неодинаков. В популяциях 1, 2, 14 – наибольшая гетерозиготность отмечена по праймеру UBC 827, в популяциях 3 и 5 – по праймеру OPF 8, в популяциях 4, 6, 7, 11, 12, 15 – по праймеру It 1. Еще в двух группах (7, 16) наиболее изменчивы оказались межмикросателлитные участки (по праймерам It 1 и UBC 827). Только в четырех популяциях (пункты 8, 9, 10, 13) по трем праймерам получены сходные высокие значения гетерозиготности. Стоит отметить, что эти группы обитают на особо охраняемых природных территориях.

Таблица 3

Средние частоты аллелей и уровни гетерозиготности, вычисленные по различным праймерам

Пункт	OPF 8			It 1			UBC 827		
	<i>p</i>	<i>q</i>	<i>He</i>	<i>p</i>	<i>q</i>	<i>He</i>	<i>p</i>	<i>q</i>	<i>He</i>
1	0.250	0.750	0.111	0.112	0.888	0.100	0.196	0.804	0.210
2	0.338	0.662	0.154	0.232	0.768	0.183	0.269	0.731	0.248
3	0.261	0.739	0.198	0.193	0.807	0.082	0.164	0.836	0.184
4	0.273	0.727	0.135	0.139	0.861	0.223	0.100	0.900	0.135
5	0.280	0.720	0.233	0.192	0.808	0.138	0.216	0.784	0.169
6	0.355	0.645	0.052	0.211	0.789	0.264	0.227	0.773	0.155
7	0.184	0.816	0.198	0.196	0.804	0.248	0.341	0.659	0.243
8	0.335	0.665	0.273	0.165	0.835	0.219	0.280	0.720	0.255
9	0.310	0.690	0.209	0.163	0.837	0.222	0.218	0.782	0.235
10	0.301	0.699	0.252	0.219	0.781	0.282	0.203	0.797	0.255
11	0.188	0.812	0.153	0.213	0.787	0.230	0.320	0.680	0.177
12	0.306	0.694	0.176	0.197	0.803	0.240	0.129	0.871	0.192
13	0.346	0.654	0.273	0.207	0.793	0.256	0.239	0.761	0.222
14	0.339	0.661	0.070	0.170	0.830	0.239	0.299	0.701	0.303
15	0.259	0.741	0.127	0.271	0.729	0.318	0.305	0.695	0.235
16	0.287	0.713	0.155	0.155	0.845	0.227	0.199	0.801	0.253

Примечание: *p* – средняя частота присутствия аллели, *q* – средняя частота отсутствия аллели, *He* – предполагаемая гетерозиготность.

Результаты однофакторного дисперсионного анализа, приведенные в таблице 4, демонстрируют высокую оригинальность исследуемых популяций по соотношению частот аллелей используемых локусов ДНК. Во всех случаях межпопуляционная вариация достоверно превосходит внутривидовую. Это подтверждает выдвинутый нами ранее тезис [12, 13], что урбанизированный лесостепной ландшафт, в условиях которого обитает большинство изучаемых групп улиток, нарушает естественные миграционные процессы, приводит к сильной изолированности и, как следствие, ведет к формированию своеобразных популяционных генофондов.

Таблица 4  
Результаты однофакторного дисперсионного анализа частот аллелей исследуемых локусов

Локусы праймеров	Изменчивость	SS	df	MS	F	Fst
OPF 8	Между группами	643.1	15	42.9	35.8	1.7; 2.0; 2.5
	Внутри групп	849.7	681	1.2		
It 1	Между группами	387.8	15	25.9	12.9	
	Внутри групп	1341.5	681	2.0		
UBC 827	Между группами	516.6	15	34.4	19.1	
	Внутри групп	1259.9	681	1.8		
По всем локусам	Между группами	1547.5	15	103.2	20.2	
	Внутри групп	3451.1	681	5.1		

В целом по 44 локусам среди популяций Среднерусской возвышенности наибольшие показатели генетической изменчивости отмечены в группах 7, 8, 9, 10, 12, 13 (табл. 5). Сходный высокий уровень изменчивости зафиксирован в популяциях Вятского

регионов (14), Урала (15) и Румынии (16). Наиболее мономорфной оказалась популяция из пункта 1, обитающая на территории Стойленского горно-обогатительного комбината.

Таблица 5  
Показатели генетического разнообразия в исследуемых популяциях

Пункт	P%	A <sub>e</sub>	I	H <sub>e</sub>
1	47.7	1.24±0.34	0.220	0.144±0.028
2	65.9	1.33±0.37	0.300	0.197±0.030
3	61.4	1.26±0.35	0.243	0.156±0.028
4	72.7	1.25±0.29	0.263	0.163±0.025
5	79.5	1.28±0.32	0.286	0.180±0.026
6	50.0	1.26±0.34	0.239	0.157±0.029
7	79.5	1.39±0.35	0.354	0.230±0.028
8	72.7	1.43±0.38	0.371	0.249±0.031
9	79.5	1.37±0.37	0.342	0.222±0.029
10	81.8	1.45±0.37	0.395	0.262±0.029
11	63.6	1.31±0.35	0.286	0.186±0.029
12	75.0	1.33±0.35	0.316	0.202±0.028
13	79.5	1.44±0.40	0.370	0.249±0.031
14	70.5	1.35±0.36	0.318	0.209±0.029
15	81.8	1.38±0.36	0.347	0.227±0.029
16	75.0	1.35±0.34	0.382	0.213±0.028

Примечание: P – процент полиморфных локусов; A<sub>e</sub> – среднее эффективное число аллелей на локус; I – индекс Шеннона; H<sub>e</sub> – предполагаемая гетерозиготность; значения M±Se

(пункт 1, 6). К румынской группе наиболее близкими оказались популяции из пунктов 6 и 10. Кроме того, группа из пункта 6 так же наиболее близка к популяции из Вятского региона, а группа из пункта 10 ближе остальных групп из Среднерусской возвышенности стоит к уральской популяции.

Значения генетического расстояния, вычисленные по Nei (табл. 6), демонстрируют, что по соотношению частот аллелей среди популяций Среднерусской возвышенности наиболее оригинальной является популяция из заповедного участка «Ямская степь» (пункт 2), которая дальше всех дистанцировалась от большинства популяций региона, включая и близлежащие группы



Таблица 6

## Значения генетического расстояния (по Неи [15])

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	Пункт
0.000																1
0.216	0.000															2
0.110	0.195	0.000														3
0.098	0.170	0.165	0.000													4
0.039	0.157	0.068	0.119	0.000												5
0.122	0.220	0.193	0.116	0.105	0.000											6
0.199	0.186	0.238	0.173	0.212	0.178	0.000										7
0.145	0.207	0.160	0.146	0.135	0.203	0.166	0.000									8
0.139	0.216	0.157	0.108	0.149	0.160	0.162	0.071	0.000								9
0.130	0.124	0.138	0.098	0.114	0.114	0.113	0.100	0.112	0.000							10
0.180	0.182	0.178	0.202	0.183	0.211	0.176	0.171	0.146	0.118	0.000						11
0.174	0.218	0.124	0.131	0.147	0.207	0.215	0.140	0.128	0.104	0.171	0.000					12
0.139	0.169	0.156	0.117	0.100	0.129	0.161	0.132	0.109	0.077	0.130	0.185	0.000				13
0.121	0.201	0.238	0.144	0.148	0.051	0.116	0.200	0.190	0.124	0.187	0.270	0.142	0.000			14
0.254	0.196	0.248	0.231	0.254	0.224	0.154	0.176	0.141	0.084	0.125	0.163	0.177	0.216	0.000		15
0.112	0.168	0.189	0.104	0.123	0.073	0.146	0.185	0.176	0.097	0.175	0.217	0.154	0.059	0.207	0.000	16

## Литература

1. Хохуткин И.М. Полиморфизм и границы популяций наземных моллюсков из рода *Bradybaena* // Экология. – 1971. – № 4. – С. 73–80.
2. Хохуткин И. М. О наследовании признака "опоясанности" в естественных популяциях наземного брюхоногого моллюска *Bradybaena fruticum* (Mull.) // Генетика. – 1979. – Т. 15, № 5. – С. 868–871.
3. Хохуткин И.М. Структура изменчивости видов на примере наземных моллюсков. – Екатеринбург: УрО РАН, 1997. – 175 с.
4. Матекин П.В., Макеева В.М. Полиморфная система эстераз и пространственная структура вида у кустарниковой улитки (*Bradybaena fruticum* Mull.) // Журн. общ. биол. – 1977. – Т. 38, № 6. – С. 908–913.
5. Макеева В.М., Пахорукова Л.В., Уголкина Н.Д. Анализ динамики полиморфных признаков в популяциях *Bradybaena fruticum* в целях экологического мониторинга // Журн. общ. биол. – 1995. – Т. 56, № 5. – С. 170–185.
6. Макеева В.М., Белоконов М.М., Малюченко О.П., Оценка состояния генофонда природных популяций беспозвоночных животных в условиях фрагментарного ландшафта Москвы и Подмосковья (на примере кустарниковой улитки *Bradybaena fruticum* (Müll) // Генетика. – 2005. – № 11. – С.1495–1510.
7. Макеева В.М., Белоконов М.М., Смуров А.В. Эколого-генетический подход к охране животных антропогенных экосистем (на примере модельных видов в Москве и Подмосковье). – М.: Изд-во Московск. ун-та. – 2011. – 160 с.
8. Зейферт Д.В. Действие естественного отбора на генетическую структуру популяций наземного моллюска *Bradybaena fruticum* (Mull.) // Журн. общ. биол. – 1987. – Т. 48, № 4. – С. 549–554.
9. Зейферт Д.В., Хохуткин И.М. Экология кустарниковой улитки *Fruticola fruticum* – М.: Товарищество научных изданий КМК, 2009. – 92 с.
10. Falniowski A., Szarowska M., Witkowska-Pelc E. Intra- and interpopulation genetic differentiation and gene flow in a group of isolated populations of *Bradybaena fruticum* (Muller, 1774) in South Poland // Journ. of Zoolog. Systematics and Evolutionary Research. – 2004. – Vol. 42, № 1. – P. 70–80
11. Снегин Э. А., Структура расселенности *Bradybaena fruticum* (Mollusca, Gastropoda, Pulmonata) в условиях юга лесостепной зоны Русской равнины. Автореф. дис. ... канд. биол. н. – М, 1999. – 22 с.
12. Снегин Э. А., Эколого-генетические аспекты расселения *Bradybaena fruticum* (Mollusca, Gastropoda, Pullmonata) в элементах лесостепного ландшафта // Экология. – 2005. – № 1. – С. 39–47.

13. Снегин Э. А., Оценка состояния популяционных генофондов наземных моллюсков в условиях влияния горно-обогатительных комбинатов на примере *Bradybaena fruticum* Müll (Gastropoda, Pulmonata) // Экологическая генетика. – 2010. – Т. VIII, № 2. – С. 45–55.

14. Peakall R., Smouse P.E., GenAlEx V5: Genetic Analysis in Excel. Population genetic software for teaching and reseach. Australian National University. – Canberra, Australia, 2001. – <http://www.anu.edu.au/BoZo/GenAlEx/>.

15. Nei M. Estimation of average heterozygosity and genetic distance from a small numba of individuals // Genetics. – 1978. – Vol. 89. – P. 583–590.

## **ANALYSIS OF THE GENETIC VARIABILITY OF POPULATIONS OF LAND SNAIL *BRADYBAENA FRUTICUM*MÜLL. USING RAPD AND ISSR MARKERS**

### **E.A. Snegin**

*Belgorod State National Research  
University, Pobedy St., 85, Belgorod,  
308015, Russia;*

*E-mail: snegin@bsu.edu.ru*

On the basis of the method of polymerase chain reaction, using RAPD and ISSR DNA markers the genetic structure of populations of model species of terrestrial molluscs *Bradybaena fruticum* Müll., living in Central Russian Upland, has been analyzed. We give a transcript of the obtained fingerprints. Polymorphic and monomorphic amplicons are identified. The level of genetic variability and the degree of originality of gene pools of studied populations are determined.

Key words: PCR, terrestrial mollusks, population gene pool, Central Russian Upland.



## СОВРЕМЕННАЯ СТЕПЕНЬ ИЗУЧЕННОСТИ КАСПИЙСКИХ КЕФАЛЕЙ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ УЛОВОВ 2007-2010 гг.

**К.М. Рустамова**

Азербайджанский научно-исследовательский институт  
рыбного хозяйства  
Министерство экологии  
и природных ресурсов  
Азербайджанской Республики  
AZ 1008, г. Баку,  
ул. Демирчи-заде, 16.

E-mail: rustamova\_k@yahoo.com

В статье излагается современное состояние кефали в западном районе Среднего и Южного Каспия по результатам исследовательских уловов 2007-2010 гг. За период исследований были проанализированы некоторые биостатистические показатели популяции кефали (*Liza saliens* и *L. aurata*) с последующей их статистической обработкой.

Ключевые слова: *Liza saliens*, *Liza aurata*, Средний и Южный Каспий, биостатистические показатели.

### Введение

Каспийское море находится под влиянием антропогенных и природных факторов, приводящих к коренной перестройке данного бассейна с последующим негативным воздействием на количественные и качественные характеристики распределения рыб. В этой связи анализ видового состава кефалевых рыб, колебаний численности и биомассы в разных полигонах Каспийского моря представляет научно-практический интерес. Актуальной является и разработка рекомендаций по кефальному промыслу в западном побережье Среднего и Южного Каспия.

Цель работы – с помощью методов системного морфометрического анализа изучить некоторые биостатистические показатели популяции кефали.

### Объекты и методы исследования

Материал собирали в виде прилова во время комплексных траловых съемок на научно-исследовательском судне «Алиф Гаджиев» (2007-2010 гг.) в западной прибрежной акватории Среднего и Южного Каспия по возрастающим глубинам от 10 до 100 м. На исследованных 55 станциях в качестве орудия лова применялся 24.7 метровый донный трал. Одновременно ежемесячно (2009-2010 гг.) проводился сбор материала по подросту кефали на наблюдательных пунктах, расположенных в прибрежных районах Южного Каспия. Орудиями лова служили ставные сети с размерами ячеи 22×24 мм и волокуши, длиной 25 м и размерами ячеи 22 мм.

Динамика популяции кефали (*Liza saliens* и *L. aurata*) исследовалась на основе сочетания размерной частоты, биологических и размерно-возрастных данных. Видовую принадлежность рыбы устанавливали по характеру чешуи на конце рыла рыбы, а также с помощью определения формы желудка и характера ее пилорических придатков. Все измерения проводились на свежей кефали. Сбор и обработку материалов проводили по общепринятым методикам [1, 2] с использованием статистических возможностей пакета SPSS 12.0.1. При анализе промысловых уловов за основную длину рыбы было принято расстояние от конца рыла рыбы до конца чешуйного покрова. Все значения представлены в виде основных характеристик варьирующих объектов ± их ошибки. В качестве порога доверительной использовалась вероятность  $P=0.95$ , которой соответствовала величина нормированного отклонения  $t=1.96$ . Зависимость между длиной тела (от конца рыла до конца средних лучей хвостового плавника) и массой (с внутренностями) была вычислена согласно формуле  $W=aL^b$  [3].



### Результаты и их обсуждение

В исследуемых выборках 2007-2010 гг. были обнаружены особи 2-х видов кефали: остронос (*Liza saliens*) и сингиль (*L. aurata*), длина которых колебалась в пределах от 14.6 до 51.00 см, а масса тела от 37 до 1685 г. Средние параметры длины и массы кефали за 2007-2010 гг. составили  $28.60 \pm 0.20$  см и  $508.66 \pm 6.75$  г, соответственно (рис. 1). При этом максимальная абсолютная длина каждого вида кефали за 4 года исследований отмечалась один раз: у остроноса – в апреле 2010 г., составляя 60.0 см (масса 1445 г), а у сингиля – в декабре 2010 г., составляя 56.5 см (масса 1360 г).

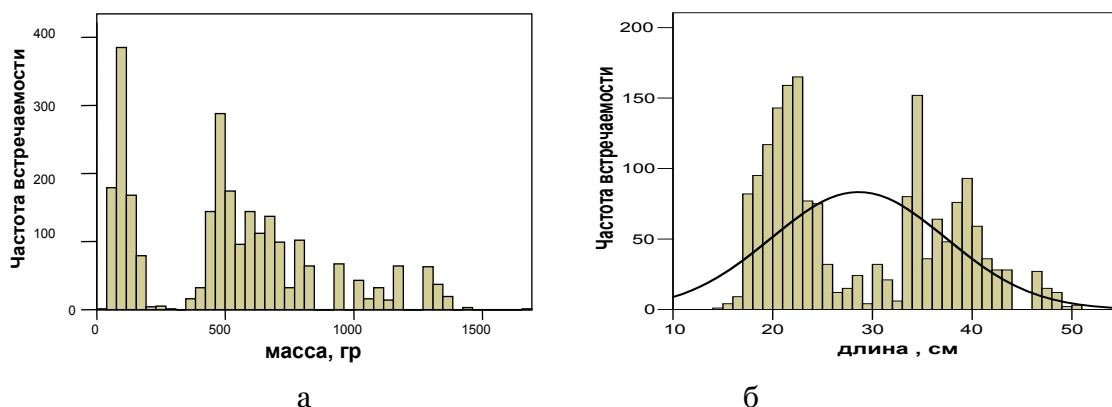


Рис. 1. Гистограмма распределения массы (а) и длины (б) тела кефали по частотам за 2007-2010 гг.

Наблюдаемая абсолютная длина кефали за 2007-2010 гг. существенно отличалась между полами (ANOVA,  $F=7.4$ ,  $P<0.05$ ). Сравнение 2-х корреляционно зависимых признаков кефали, таких как длина и масса тела рыбы у обоих полов (за 2007-2010 гг.) показало, что нулевая гипотеза отвергается при условии  $t=17.2$ ,  $P<0.05$ .

Зависимость между длиной и массой тела каспийской кефали в уловах ставных сетей в водах у Азербайджанского побережья Южного Каспия за 2007-2010 гг. описывали уравнением  $y=0.0075x^{3.1103}$  для остроноса и уравнением  $y=0.0002x^{4.06}$  для сингиля (рис. 2).

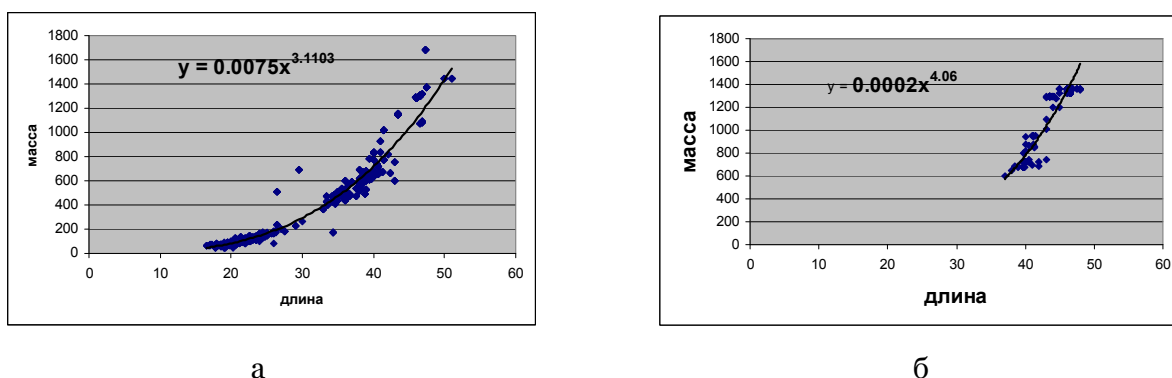


Рис. 2. Зависимость между длиной и массой тела кефали у остроноса (*Liza saliens*) (а) и у сингиля (*L. aurata*) (б)

Во всех исследовательских траловых и сетных уловах в большинстве случаев преобладали самки обоих видов кефали (табл. 1). Аналогичное доминирование устанавливалось и исследованиями прошлых лет (за 1947-1950 гг.) [4]. Так, исследования Пробатова [4] показали особенно высокое преобладание самок среди сингиля в Южном Каспии, когда выловленный здесь сингиль состоял на 83-96% из самок, в противовес 61.5% самок, выловленных в Среднем Каспии. Причины столь резких различий в



половом соотношении уловов кефалей в Каспии следует рассматривать в их разном возрастном составе. Самки имеют большую продолжительность жизни и, следовательно, в стаде крупной кефали, где преобладают старшие возрастные группы, самки в количественном отношении будут преобладать над самцами. Учитывая доминирующее количество самок каспийских кефалей над самцами в исследовательских уловах 2007-2010 гг. и в исследованиях прошлых лет [4], а также факта слабого развития промысла самих кефалей, вытекает вывод о малом вылове самцов кефали, которые фактически остаются почти вне использования промыслом.

В сетных уловах 2009-2010 гг. преобладали крупные кефали старших возрастных групп, коэффициент зрелости которых был в диапазоне от 0.98 до 14.28% от общего веса тела рыбы. Взвешивание зрелых гонад у кефали в период нереста показало наличие двух групп их относительных размеров: крупные (рыбы, длиной свыше 41 см), составляющие от 6 до 14.28% веса тела, которые соответствуют IV стадии зрелости гонад, и гонады меньших размеров – от 1 до 5.39% веса тела, что соответствует IV-V и выше стадиям зрелости. Максимальный вес гонад был отмечен у самки с параметрами  $l = 43.5$  см,  $m = 1155$  г, составляя 165.0 г (14.28% от веса тела) и у самцов, с параметрами  $l = 47.3$  см,  $m = 1685$  г, составляя 155.0 г (9.19% веса тела).

Таблица 1

Соотношение полов в уловах каспийских кефалей, %

Годы, период	Сингиль			Остронос		
	самки	самцы	<i>n</i>	самки	самцы	<i>n</i>
1947, март-сентябрь	83.0	17.0	376	88.8	11.2	1172
1948, март-апрель	86.2	13.8	1163	82.6	17.4	2006
1949, март-апрель	69.0	31.0	71	57.4	19.1	167
1950, март-май	96.5	3.5	326	81.2	18.8	1939
2007, июль-август	-	-	-	60.95	39.05	715
2008, июль-август	-	-	-	72.46	27.54	915
2009, март-сентябрь	89.5	10.5	35	81.17	18.82	1205
2010, март-сентябрь	91.0	9.0	20	84.47	15.53	950

Таблица 2

Упитанность остроноса (*Liza saliens*) в Каспийском море, 2009 г.

Период	Пол	Длина рыбы (до конца чешуйного покрова), см					
		<u>1.28</u>	<u>1.25</u>	<u>1.16</u>	<u>1.17</u>	<u>1.01</u>	<u>1.17</u>
Март	самец	<u>1.26</u>	<u>1.24</u>	<u>1.19</u>	<u>1.18</u>	<u>0.98</u>	<u>1.17</u>
	самка	<u>1.39</u>	<u>1.36</u>	<u>1.29</u>	<u>1.20</u>	<u>1.15</u>	<u>1.27</u>
Июнь	самец	<u>1.24</u>	<u>1.13</u>	-	<u>1.11</u>	-	<u>1.16</u>
	самка	<u>1.30</u>	<u>1.25</u>	<u>1.06</u>	<u>1.01</u>	<u>0.94</u>	<u>1.11</u>
Июль-август	самец	<u>1.20</u>	<u>1.14</u>	<u>0.93</u>	-	-	<u>1.09</u>
	самка	<u>1.29</u>	<u>1.23</u>	<u>1.15</u>	<u>1.10</u>	<u>1.01</u>	<u>1.15</u>
Сентябрь	самец	<u>1.28</u>	<u>1.13</u>	<u>1.10</u>	<u>1.06</u>	<u>0.95</u>	<u>1.10</u>
	самка						

Ежемесячные визуальные наблюдения 2009-2010 гг. показали сезонные различия в жирности кефали, однако они не столь значительны весной и осенью. Данная закономерность обусловлена тем, что кефали полностью не прекращают питаться и не сильно истощаются в холодный период года, чем и обуславливается более равномерный расход пищевых резервов на протяжении всего года [5]. Упитанность кефали от весны к осени 2009 г. также весьма незначительно повышается. Различия в упитанности при разных размерах кефали в целом не велики при длине рыб до 38 см. Однако следует отметить, что особи длиной 43-46 см. заметно уступают в упитанности более молодым. Упитанность остроноса в период с марта по сентябрь изменяется в очень незначительных пределах (табл. 2). Как показывает сравнительный анализ данных за 2009 г. относительно более высокие коэффициенты упитанности (по Фультону) отмечены в июне, то есть в период интенсивного развития половых продуктов, а к осени коэффициенты снова понижаются. Заметна тенденция уменьшения упитанности рыб

с возрастанием возраста самой рыбы. Самцы и самки одинаковых размеров в отношении упитанности почти не различаются (за исключением периода нереста).

Удовлетворительное состояние популяции кефали в западном побережье Среднего и Южного Каспия подтверждается и анализом динамики промыслового стада каспийских кефалей в Азербайджане. За последние годы промысловое количество пойманной кефали в Азербайджанских водах Каспийского моря возросло. В 2002 г. промысел кефали в Азербайджане составлял 33,79 ц, а в 2009 г. – 390 ц, при максимальном его количестве в 2007 г., когда он составил 617 ц. Однако, эти уловы (в основном прилов в различные орудия лова, предназначенные для других видов рыб, таких как частичковых) в короткие сроки путины не характеризуют возможные запасы кефали. Далеко не полное использование запасов этих рыб связано с тем, что до сих пор нет установившегося промысла и не совершенствуется техника лова каспийской кефали.

### Выводы

1. Биостатистические показатели популяции кефали, по результатам траловых и сетных уловов 2007-2010 гг., относительно устойчивы, что является подтверждением ее стабильного состояния.

2. Изучение динамики промыслового стада каспийской кефали и некоторых сторон биологии исследуемого объекта показывает, что запасы каспийской кефали могут обеспечить относительно высокие уловы при осуществлении селективного вылова кефали с использованием специализированных орудий лова на путях миграции рыб.

### Список литературы

1. Правдин И.Ф. Руководство по изучению рыб. – М.: Пищ. промышл., 1966. – 376 с.
2. Чутунова Н.И. Руководство по изучению возраста и роста рыб. - М.: Изд-во АН СССР, 1959. – 164 с.
3. Vagenal, T.B. Methods for the assessment of fish production in freshwaters. – Blackwell. Oxford, 1978. – 365 p.
4. Пробатов С.Н. Кефали в Каспийском море // Автореферат дисс. ... д. биол. наук. – Баку: Азерб. отделение Каспийского филиала ВНИИМРХО, 1955. – 28 с.
5. Куделина Е.Н. Питание кефали в Южном Каспии // Тр. Каспийского бассейнового филиала ВНИРО. – 1950. – Т. 10. – С. 38-42.

## MODERN LEVEL OF STUDY OF THE CASPIAN MULLET BY RESULTS OF THE RESEARCH CATCHES IN 2007-2010

**K.M. Rustamova**

*Azerbaijan Fisheries Research Institute  
Ministry of Ecology and Natural  
Resources of Republic of Azerbaijan  
AZ 1008, Baku, Demirchi-zade St., 16*

*E-mail: rustamova\_k@yahoo.com*

In the article the current state of the mullet is stated in the western area of the Middle and Southern part of Caspian Sea from the results of research catches in 2007-2010. Within research period some biostatistical indices of the population of the mullet has been analyzed with their subsequent statistical processing.

Key words: *Liza saliens* и *Liza aurata*, the Middle and Southern part of the Caspian Sea, biostatistical indices.



## ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СТРУКТУРА МИКРОЦЕНОЗОВ ГНЕЗД СИНАНТРОПНЫХ ПТИЦ В УСЛОВИЯХ ЮЖНОГО ПРИМОРЬЯ

**Н.М. Белоусова**

Приморский институт  
повышения квалификации и  
переподготовки педагогических  
кадров,  
Россия, 690000,  
г. Владивосток,  
ул. Станюковича, 28  
E-mail: nataly2664@mail.ru

Наиболее простую организацию имеют микроценозы гнезд синантропных птиц, размещенные открыто (на деревьях и кустарниках), имеющие чашеобразную форму и использующиеся птицами только в репродуктивный период. Сравнительный анализ фауны и функциональной структуры гнезд синантропных птиц Южного Приморья, проведенный в разные сезоны, показал, что некоторые (крупные многоярусные) гнезда врановых можно рассматривать как динамичные биоценоотические системы, характеризующиеся сложным характером взаимоотношений. Фауна новых гнезд формируется за счет переноса нидиколов птицей-хозяином гнезда и случайной миграции видов (чаще микрокавениколов) из окружающих ценозов. Имеются определенные различия в видовом составе фаун гнезд птиц из урбанистических районов и таежной зоны.

Ключевые слова: нидиколы, микрокавениколы.

### Введение

Изучение фауны обитателей гнезд имеет более чем столетнюю историю. Первая попытка классификации фауны членистоногих была предпринята Норманом (1916), в последующие годы сведения из этой области накапливались, первые работы носили описательный таксономический характер. Изучаются отдельные виды или группы беспозвоночных, обитающих в гнездах мелких млекопитающих. В 50-е годы XX века опубликована работа Л.В. Мулярской, посвященная изучению биоценозов гнезд птиц в условиях Таджикистана, единственная в своем роде, в которой дается не только фаунистический обзор видов, обитающих в гнездах, но и рассматриваются типы взаимоотношений обитателей гнезд с птицей-хозяином гнезда.

Позднее, дав начало исследованию паразитарных систем, Беклемишев В.М. в своих работах «Паразитизм членистоногих на наземных позвоночных: пути его возникновения» (1951), «Основные направления развития паразитизма на наземных позвоночных» (1952), «Возбудители болезней как члены биоценозов» (1956), «Популяции и микропопуляции паразитов и нидиколов» (1959) рассматривает эволюцию паразито-хозяйинных взаимоотношений, обобщает данные по нидиколам и паразитам, создает стройную систему классификации биотических взаимоотношений внутри гнезда и разрабатывает ряд количественных характеристик для подобных микроценозов.

Паразитологическое направление изучения обитателей гнезд птиц в 50-60 г развивается: выходят работы А.А. Земской и др. (1955), в которых рассматривается роль клеща *Dermanyssus gallinae* в трансмиссии возбудителя лихорадки Ку, работы А.А. Тагильцева, в которых описаны паразитоценозы гнезд грызунов и участие гнездво-норовых гамазовых клещей в циркуляции вируса клещевого энцефалита (1956, 1957, 1960, 1969). Конец 50-х начало 60-х годов можно считать зарождением нового направления в исследованиях эктопаразитов птиц и их гнезд, и их значении в распространении и циркуляции возбудителей зоонозов и антропонозов.

В Приморском крае В.Г. Беляев и Р.Х. Кутушева, изучая гамазовых клещей грызунов и птиц населенных пунктов Приморского края, указывают на возможность участия птиц в циркуляции возбудителей инфекционных заболеваний (1965).

Позднее выходит ряд работ О.М. Бутенко в которых дается обзор акарофауны гнезд птиц (1960-1968), А.А. Земской (1966-1969). Н.П. Мишева и Б.П. Савицкой (1963). В начале 70-х публикуется монография О.Ф. Андрейко и Р.П. Шумило «Паразиты врановых, грызунов и зайцеобразных Молдавии». В 70-е годы продолжается изучение паразитоценозов гнезд мелких млекопитающих и птиц в Приморье: В.П.

Гордеевой рассматриваются эктопаразиты серого скворца и других птиц приханкайского района (1970), Н.П. Беликова и Н.М. Литвиненко изучив эколого-фаунистические связи гамазовых клещей с колониальными птицами островов залива Петра Великого (Южное Приморье) рассматривают возможность участия птиц в циркуляции анторопонозов (1973). В 70-е годы прошлого столетия продолжается изучение акарофауны гнезд мелких млекопитающих и птиц. Ряд авторов изучали комплекс эктопаразитов гнезд отдельных видов птиц, образующих массовые скопления: серебристой чайки – Н.А. Никулина и Е.М. Курочкина (1984), белопоясничных стрижей – Никулина с соавторами (1986), береговой ласточки в Казахстане и Западной Сибири А.А. Тагильцев и И.И. Богданов, некоторых видов мигрантов на Байкале – Н.А. Никулина и Н.А. Оловяникова (1990), грача в Западной Сибири – Якименко с соавторами изучает биоценозы гнезд колониально гнездящегося птиц (1990) и береговой ласточки (1991), а также делает заключение о роли эктопаразитов в распространении арбовирусов (1991, 1999).

Микроценозы гнезд птиц Приморского края не изучались, несмотря на то, что ряд видов птиц, являясь синантропами, тесно контактируют с жильем человека и домашними животными. Плотность населения некоторых синантропных птиц очень высока, гнездовья размещены в непосредственной близости к жилым помещениям, что создает благоприятные условия для распространения микроавениколов – вредителей сырья или запасов, а также эктопаразитов-переносчиков возбудителей зоонозов и анторопонозов.

Орнитофауна селитебных районов Приморья представлена 311 видами птиц, относящихся к 18 отрядам и 55 семействам. Гнездование отмечено для 101 вида, 88 видов являются зимующими, 14 – залётными, остальные регистрируются в период зимних миграций и кочевок [1]. Доминируют, по данным Н.Н. Липатовой, три оседлых синантропных вида птиц: полевой воробей, сизый голубь и сорока, которые суммарно составляют около 92% летнего и около 94% зимнего орнитологического комплекса селитебной части края [2].

### Объекты и методы исследования

Материалом для работы послужили стационарные исследования, проведенные в Уссурийском, Хорольском, Спасском и Черниговском районах в 1999–2010 гг. с начала сентября до конца октября. Фауна нидиколов была изучена с применением термомоноклаторов. Для изучения была выбрана группа синантропных птиц (*Hirundo rustica* L., *H. daurica* L., *Sturnus cineraceus* Temm., *Pica pica* L., *Corvus frugilegus* L., *C. corone* L., *Passer montanus* L.), проведен анализ нидиколов гнезд в разные сезоны и определена приуроченность к биотопам с разной степенью антропогенного воздействия. При изучении и описании количественного состава популяции нидиколов использовались термины и понятия, предложенные В.Н. Беклемишевым [3]. К ним относятся: индекс обилия (ИО) – среднее число особей данного вида на единицу учета

Таблица 1

**Количество изученных гнезд синантропных птиц Южного Приморья в зависимости от сезона**

Птица-хозяин гнезда	Количество обследованных гнезд по сезонам			
	осень	зима	весна	лето
<i>Hirundo rustica</i> L.	32	33	34	42
<i>H. daurica</i> L.	29	30	36	55
<i>Sturnus cineraceus</i> Temm.	10	12	23	34
<i>Pica pica</i> L.	35	23	34	45
<i>Corvus frugilegus</i> L.	21	23	24	33
<i>Corvus corone</i> L.	25	23	21	27
<i>Passer montanus</i> L.	27	20	31	32
Всего	179	164	203	268

(особь хозяина, гнездо). Общий запас – суммарный индекс обилия. При обнаружении пупариев производился повторный просмотр и подсчет после вышлота мух в лабораторных условиях. Всего было собрано 10 328 экземпляров членистоногих в разных фазах жизненного цикла (от имаго до пупариев и куколок) из 814 гнезд 7 птиц-хозяев в разные сезоны. Массовые виды определены до видового уровня, единичные –



до уровня отряда. В таблице 1 указано соотношение изученных гнезд разных видов птиц по сезонам.

В сборах представлены следующие виды гнездовых построек:

1) гнезда, расположенные открыто - на деревьях (*P. pica* L., *C. frugilegus* L., *C. corone* L.)

2) гнезда, расположенные в щелях, под крышами строений и скворечниках (*P. montanus* L., *S. cineraceus* Temm., *H. daurica* L.)

3) гнезда, расположенные в хозяйственных постройках (животноводческие помещения) – *H. daurica* L., *H. rustica* L.

Таксономический обзор нидиколов гнезд синантропных птиц Южного Приморья.

В гнездах синан-тропных видов птиц в условиях Приморья выявлены следующие группы беспозвоночных: Aranea, Acarina, Pseudoscorpionida, Geophilomorpha, Diplopoda, Collem-bola, Hemiptera, Siphonaptera, Coleoptera, Diptera, Hymenoptera, Lepidoptera. Всего обнаружено более 55 видов членистоногих. Отличается как качественный состав фауны гнезд разных хозяев, так и его количественные характеристики.

Численность членистоногих, относящихся к разным таксонам, показана в таблице 2.

Таблица 2  
Численность членистоногих в гнездах синантропных птиц в условиях Южного Приморья

Классы, отряды	Общее количество экземпляров (общий запас)	Индекс доминирования, %
Паукообразные		
Aranea	546	4.33
Acarina	6158	48.82
Pseudoscorpionida	190	1.51
Многоножки		
Geophilomorpha	19	0.168
Diplopoda	3	0.06
Насекомые		
Collembola	1158	9.18
Hemiptera	190	1.51
Siphonaptera	1880	14.91
Coleoptera	1694	13.43
Diptera	499	2.96
Hymenoptera	199	1
Lepidoptera	272	2.16
Homoptera	2	0.02

Большая часть исследованных гнезд заселена гамазовыми клещами (*Derma-nyssus gallinae* De Geer, Сем. Dermanyssidae), причем это гнезда птиц, использующих глину и почву для их сооружения и размещенные преимущественно в пустотах бетонных строений, прикреплены к каменным стенам или находятся в животноводческих помещениях (с достаточно высокой влажностью, более 60%). Многочисленны в гнездах эктопаразиты птиц – блохи (*Ceratophyllus gallinae* Schrank, *C. garei* Roth-schild, *C. farreni* Rothschild, *C. maculatus* Wagner – сем. Cera-tophyllidae, Siphonaptera), мухи-кровососки (*Ornitomya avicularia* L., *O. fringillina* Curt., *O. chloropus*

Berg. – сем. Hippoboscidae, Diptera), из других насекомых наибольшая численность отмечается для жуков (отр. Coleoptera, Insecta), некоторые из которых являются типичными нидиколами (*Attagenus unicolor japonicus* Rtl., *Dermestes lardarus* L., *D. vorax* Motch., *D. nidum* Arrow. – сем. Dermestidae) или микрокавениколами (детритофаги – *Tipnus unicolor* Pill., *Niptus clavipes* Pr. – сем. Ptinidae; *Tenebrio molitor* L., *Neatus pisines* Herbst., *Alphitobius diaperinus* Pr. – сем. Tenebrionidae; *Margarinotus niponicus* Lew., *Dendrophillus xaviery* Mars., *D. pygmaeus* L., *Saprinus spernax* Mars., *Hister sibiricus* M. - сем. Histeridae), а другая часть – хищники (*Dromius quadraticollis* Mor. – сем. Carabidae; *Staphylinus suriensis* Sols. – Сем. Stahylinidae) или случайно оказавшиеся в открытых гнездах фитофаги (*Coroebus aqualipennis* Fanm. – сем. Buprestidae; *Cassida lineola* Creatzer, *Phratoria valgatissima* L. – сем. Chrysomelidae; *Phospuga atrata* L. – сем. Silphidae; *Stephanocleonus chankanus* Sus. – сем. Curculionidae; *Ectinohoplia rufipes* Motsch., *Cetonia magnifica* Ballon., *Holotricha diomphalia* Brt. – сем. Scarabaeidae; *Trox ineptus* Balth. – сем. Trogidae).

Наиболее разнообразна (по числу видов) фауна обитателей крупных использующихся хозяином многократно и сохраняющихся в течение нескольких сезонов, гнезд врановых, что обусловлено как характером их размещения (открыто, на деревьях), так и особенностями постройки (многоярусные, построены из материалов как растительного, так и животного и даже антропогенного происхождения).

Разнообразием по числу видов отличаются и гнездовые постройки, использующиеся разными птицами. Анализ динамики птичьего населения в гнездовой колонии ласточки рыжепоясничной и наблюдения за отдельно размещенными гнездами этого же вида показал, что в разные сезоны (летом – 6.8%, зимой – 28.8%) часть гнезд заняты полевыми воробьями, что приводит к наслоению фаун нидиколов и обмену эктопаразитами, по нашим наблюдениям, это характерно и для пар: скворец – воробей, воробей – ласточка деревенская.

### Результаты и обсуждение

После проведения таксономического анализа фауны были выявлены экологические группы нидиколов, облигатные и факультативные обитатели птичьих гнезд. Установление топических, форических и трофических взаимодействий обитателей гнезда и птицы-хозяина – один из интереснейших этапов данной работы.

Обнаруженных в гнездах членистоногих по степени приуроченности можно разделить на три группы:

1. Облигатные – типичные нидиколы, живущие исключительно в птичьих гнездах. Биология таких видов имеет черты специализации к условиям обитания в гнездах птиц. По типу питания это или зоофаги (экто- и эндопаразиты птицы-хозяина гнезда, гнездово-норовые кровососы). Они составляют большинство (86.8% от общего количества) всех обитающих в гнезде членистоногих.

2. Факультативные – микрокавениколы, членистоногие, которые наряду с другими местообитаниями могут заселять и птичьи гнезда, по пищевой специализации это зоофаги (паразиты и хищники членистоногих, обитающих в гнездах), а также сапрофаги. Эта группа составляет около 13% от общей численности всех членистоногих, обнаруженных в гнездах.

3. Случайные виды – индифферентны по отношению к хозяину гнезда, не более 0.2% от общей численности всех обитателей. Причем, как правило, обнаруживаются в открыто размещенных гнездах врановых или гнездах, субстрат которых состоит из большого количества растительных остатков (гнезда полевых воробьев).

По отношению к птице-хозяину гнезда для нидиколов можно выделить следующие типы взаимоотношений.

1. Топические (прямые и косвенные) – связывают пауков, ложноскорпионов и других хищников или детритофагов, пребывание которых в гнездах обусловлено характером полости и косвенными трофическими связями с хозяином гнезда, это мухи из сем. Anthomyiidae (*Anthomyia pluvialis* L), жуки из сем. Histeridae, Elateridae, Ptinidae, Tenebrionidae.

2. Трофические – прямые и косвенные – наиболее многозначны и сложны в связи с тем, что происходит смена пищевой специализации на разных стадиях жизненного цикла некоторых нидиколов, а также, потому что источником пищи является не только птица-хозяин гнезда и продукты ее жизнедеятельности, но и субстрат, используемый для постройки гнезда. В связи с этим можно выделить группы как по пищевым пристрастиям (гематофаги, лимфофаги, саркофаги, миксофаги, кератофаги, мукофаги, лакрифаги, некрофаги и капрофаги), так и по характеру паразито-хозяйинных отношений (свободноживущие кровососы (в условиях южного Приморья в гнездах не отмечены); гнездово-норовые кровососы – *Dermanyssus gallinae* De Geer, *Ceratophyllus gallinae* Schrank, *C. garei* Rothschild, *C. farreni* Rothschild, *C. maculatus* Wagner; временные эктопаразиты и многоотрывные эктопаразиты – *Ixodes persulcatus* Schulze – сем. Ixodidae, Acarina; постоянные эктопаразиты – *Ornitomya avicularia* L., *O. fringillina* Curt, *O. chloropus* Berg. – сем. Hippoboscidae, Diptera); кожные и тканевые эндопаразиты – личинки некоторых мух (*Protocalliphora caerulea* R.-D. – сем. Calliphoridae, Diptera). В гнездах также обнаруживаются энтомофаги (*Bracon variegator*



Nees. – сем. Braconidae, Hymenoptera; *Reduvius personatus* Linnaeus – сем. Reduviidae, Heteroptera.), детрито- и фитофаги (*Cetonia magnifica* Ballon., *Holotricha diomphalia* Brt. – сем. Scarabaeidae); *Cassida lineola* Creutzer, *Phratoria valgatissima* L. – сем. Chrysomelidae; *Phospuga atrata* L. – сем. Silphidae), занесенные в гнездо птицей с субстратом или случайно попавшие в гнездо из окружающего фитоценоза. В целом по типу питания всех членистоногих, обнаруженных в гнездах птиц, разделить на зоофагов, сапрофагов и фитофагов. Если рассматривать взаимоотношения, складывающиеся между нидиколами и птицей, можно отметить как паразитизм, так и хищничество, комменсализм, мутуализм и индифферентные взаимоотношения.

3. Фабрические взаимоотношения нидиколов и птиц-хозяев определяются особенностями биологии последних, что, в свою очередь, обуславливает различный характер их размещения (фауна открыто размещенных гнезд более разнообразна; в таких гнездах чаще встречаются случайные виды; фауна гнезд, расположенных в постройках человека беднее по видовому составу, здесь преобладают синантропные виды, вредители продуктов и сырья животного происхождения (*A. unicolor japonicus* Rtl., *D. lardarus* L., *D. vorax* Motch., *D. nidum* Arrow., сем. Dermestidae); разнообразие субстратов и материалов, используемых для постройки гнезда (наличие или отсутствие почвы, слоя дерна, теплоизоляционных материалов – шерсть животных, перья, пух); характер самой постройки (с «крышей», как у сорок, или чашеобразной, как у грача или черной вороны), что определяет микроклимат убежища (сглаживание колебаний температур и влажности).

4. Форические связи между нидиколами и птицами могут быть как прямыми (*O. avicularia* L., *O. fringillina* Curt., *O. chloropus* Berg. – сем. Hippoboscidae; *Ixodes persulcatus* Schulze – сем. Ixodidae), так и косвенными (*Bracon variegator* Nees – сем. Braconidae, Hymenoptera).

Сравнивая удельный вес различных типов связей нужно отметить, что наибольшее значение имеют топические и трофические.

Проследить динамику фауны нидиколов сложно в связи с большим их видовым разнообразием, разнообразием гнездовых построек модельной группы птиц, а следовательно, и разнообразием микроклиматических условий в них. Определенная сложность такого анализа связана с разной степенью эксплуатации гнездовой постройки птицей-хозяином (только в период гнездования, для ночевки вне гнездового периода), наличие нескольких кладок в течение теплого периода (так для гнезд *H. daurica* L. и *H. rustica* L. с мая по август характерны как гнезда, в которых только что отложены яйца, находятся птенцы разного возраста, часть гнезд не заняты ласточками и пустыют, а часть – заняты другими хозяевами). Кроме того, такие показатели, как, численность, приуроченность и индекс обилия разных таксономических групп нидиколов, в зависимости от сезона, очень различны для имаго, личинки и куколки одного и того же вида членистоногого.

В связи с вышесказанным рассмотрим интенсивность заселения гнезд синантропных птиц жуками в разные сезоны, поскольку это, во-первых, самая многочисленная по числу видов таксономическая группа нидиколов, во-вторых, в гнездах отмечены разные фазы жизненного цикла этих насекомых, обнаруживаемых в гнездах даже зимой (таблица 3).

На примере модельной группы видно, что наибольшие индексы обилия характерны для гнезд, расположенных в искусственных гнездовьях или пустотах в постройках человека (*P. montanus* L., *S. cineraceus* Temm.). Интенсивность заселения открыто расположенных гнезд сороки (*P. pica* L.) и ласточки рыжепоясничной (*C. daurica* L.) ниже, так как микроклиматические условия в них подвержены более сильным колебаниям и незначительно отличаются от климатических характеристик вне гнезда; еще меньше индексы обилия для чашеобразных гнезд грачей (*C. frugilegus* L.), черных ворон (*C. corone* L.), ласточек деревенских (*H. rustica* L.).



Таблица 3

**Индексы обилия жесткокрылых в гнездах синантропных птиц  
в зависимости от сезона**

Птица-хозяин гнезда	Индексы обилия											
	весна			лето			осень			зима		
	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>midl</i>	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>midl</i>	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>midl</i>	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>midl</i>
<i>Corvus frugilegus</i> L.	0	0	0	4	8	6	0	0	0	0	0	0
<i>Cecropis daurica</i> L.	0	3	0.1	1	21	7.9	0	1	0.3	0	0	0
<i>Hirundo rustica</i> L.	0	2	0.1	0	22	3.4	0	0	0	0	9	2.5
<i>Pica pica</i> L.	0	2	0.1	0	19	7.6	0	14	3.5	0	3	0.6
<i>Passer montanus</i> L.	27	29	28	1	64	22.7	0	106	53	0	0	0
<i>Sturnus cineraceus</i> Temm.	0	80	16.4	1	67	34	2	7	4.5	0	44	15.5
<i>Corvus corone</i> L.	0	0	0	6	5	5.5	0	0	0	0	0	0

Максимальные индексы обилия для жесткокрылых в фазе имаго (сем. Scarabaeidae, Tenebrionadae, Dermestidae) отмечены для летних гнезд сорок и ласточек рыжепоясничной (сем. Ptinidae), максимальные индексы обилия для личинок жесткокрылых отмечены для гнезд полевого воробья (сем. Dermestidae), собранных в январе. Весной и летом индексы обилия жесткокрылых в гнездах приблизительно одинаковы, но весной высока численность личинок, летом – имаго. Осенью интенсивность заселения гнезд жуками возрастает за счет вышлода личинок из яиц и увеличения количества видов микрокавениколов, использующих гнезда для зимовок.

Из 814 изученных гнезд часть (12%) – это гнезда, размещенные в районах со слабой степенью антропогенного воздействия (с. Каменушка УГО, с. Абражеевка, Черниговского района), другая часть (88%) – гнезда синантропных птиц из районов с выраженной антропогенной нагрузкой. Сравнительный анализ населения птичьих гнезд показал, что в гнездах синантропных птиц из районов с выраженной антропогенной нагрузкой, наибольшую часть популяции нидиколов составляют паразитические виды (*D. gallinae* De Geer, сем. Dermanyssidae, Acarina; *C. gallinae* Schrank, *C. garei* Rothschild, *C. farreni* Rothschild, *C. maculatus* Wagner, Сем. Ceratophyllidae, Siphonaptera), а так же вредители сырья и запасов человека (*A. unicolor japonicus* Rtl., *D. lardarus* L., *D. vorax* Motch., *D. nidum* Arrow, сем. Dermestidae, Coleoptera; *Tinea pellionella* L., Сем. Tineidae, Lepidoptera). В гнездах из районов с низкой плотностью населения наблюдается большее видовое разнообразие обитателей; численность выше указанных видов незначительна и обнаруживаются единичные экземпляры иксодовых клещей (*I. persulcatus* Schulze, сем. Ixodidae, Acarina) (таблица 4). Отличается и видовой состав эктопаразитов: в гнездах синантропных видов птиц из районов с высокой степенью антропогенной нагрузки преобладают виды, являющиеся эктопаразитами домашней птицы – *D. gallinae* De Geer (сем. Dermanyssidae, Acarina) и *C. gallinae* Schrank (сем. Ceratophyllidae, Siphonaptera).

### Выводы

Состав фауны гнезда определяется видом хозяина, важную роль играют микроклиматические условия, формирующиеся в связи со специфической для каждого хозяина структурой гнездовой постройки

При рассмотрении фауны гнезд синантропных птиц следует отметить их две разные категории – размещенные открыто – на деревьях, кустарниках, прикрепленные к наружной поверхности стен, и гнезда, размещенные в хозяйственных или производственных помещениях, под крышами домов, в щелях стен и перекрытий. Фауна таких гнезд (даже одного хозяина) отличается обилием видов, характером пребывания обитателей. Биоразнообразие населения птичьего гнезда также определяется степенью антропогенной преобразованности исследуемого участка. Так, фауна гнезд од-



ного и того же хозяина, взятых для изучения в таежном районе отличается по видовому составу от населения гнезд птиц из селитебной зоны.

Таблица 4

**Сравнительная характеристика комплекса эктопаразитов в летних гнездах ласточки рыжепоясничной и полевого воробья в разных типах станций**

Хозяин гнезда	Урбанизированная зона						Природные станции					
	г. Уссурийск			пригород Уссурийска			кедрово-широколиственные леса (окрестности с. Каймановка)			пойменные леса уремы (окрестности с. Линевици УГО)		
	Число видов	Индекс обилия	Относительная численность, %	Число видов	Индекс обилия	Относительная численность, %	Число видов	Индекс обилия	Относительная численность, %	Число видов	Индекс обилия	Относительная численность, %
<i>Hirundo daurica</i> L.	6	45	67	4	37	56	1	12	3	2	10	5.7
<i>Passer montanus</i> L.	4	34	64	5	56	45	2	15	4	3	8	6.7

**Список литературы**

1. Глущенко Ю.Н., Липатова Н.Н., Мартыненко А.Б. Птицы города Уссурийска: Фауна и динамика населения. – Владивосток: ТИПРО – Центр, 2006. – 264 с.
2. Липатова Н.Н., Глущенко Ю.Н., Мартыненко А.Б. Фауна и население птиц Города Уссурийска (Приморский край) // Вестник Бурятского гос. ун-та. Сер. Химия, биология, география. – 2007. – Вып. 9. – С. 137-146.
3. Беклемишев В.Н. Биоценологические основы сравнительной паразитологии. – М.: Наука. – 1970. – 502 с.

**FUNCTIONAL STRUCTURE OF MIKROTCENOSIS OF NESTS THE SYNANTROPIC BIRDS IN THE CONDITIONS OF SOUTHERN PRIMORYE**

**N.M. Belousova**

*Pimorsky Institute Retraining and Increase Qualification of Pedagogical-shots, Stanjuevich St., Vladivostok, 690000, Russia*

*E-mail: pippkro@rambler.ru*

Mikrotcenoses of nests of the synanthropic birds, placed openly (on trees and bushes), having bowl-shaped form and used by the owner only during the reproductive period have the most simple organization. The comparative analysis of fauna and functional structure of nests of synanthropic birds of Southern Primorski Krai, carried out during different seasons has shown that some (large many-tier) Raven's nests can be considered as dynamical biocenotic systems characterized by a complex character of mutual relations. The fauna of new nests is formed at the expense of carrying over nidikoles by a bird-owner of a nest and casual migration of species of associate cenoses. There are certain distinctions in species composition of faunae of nests of birds from urbanistic areas and a taiga zone.

Key words: microkavenicols, nidikols.

## МИКРОСТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ТОЧЕК СОБАК

**А.А. Горбачева**

*Белгородский государственный  
национальный  
исследовательский  
университет  
Россия, 308007,  
г. Белгород, ул. Победы 85*

*E-mail: gorbacheva@bsu.edu.ru*

В статье рассмотрены микроструктурные особенности мест локализации биологически активных точек (БАТ) собак. Дана сравнительная характеристика кожи нейтральных участков и мест локализации точек активности. Установлено, что толщина слоев кожи в местах обнаружения биологически активных точек меньше, чем в нейтральной коже. Количество сосудов в коже, взятой из мест локализации БАТ, больше, чем в нейтральной. Диаметр сосудов нейтральной кожи меньше, чем в области локализации точек. В области расположения точек активности отмечены скопления телец Мейснера и Фатера-Пачини.

Ключевые слова: биологически активные точки, собака, дерма, инкапсулированные нервные окончания, артерии, артериолы, вены.

### Введение

В последнее время предпринимаются попытки раскрыть механизм действия методов и приемов восточной медицины, в частности, рефлексотерапии. Результаты позволят объяснить с позиций современной науки многие нюансы акупунктуры. Рефлексотерапия, как метод лечения получил широкое распространение и в ветеринарии. Однако, здесь имеются свои трудности. Многие авторы руководств, занимавшихся рефлексотерапией на животных, переносили топографию точек акупунктуры с человека без соответствующей коррекции. Кроме того, не все приемы данного вила терапии удобны и осуществимы на животных, особенно у представителей с легко возбудимой нервной системой.

Следует помнить, что кожный покров – это не только барьер между организмом и внешней природой, но и довольно сложная среда с неоднородными физическими характеристиками. На ней у теплокровных животных располагаются участки с несколько измененными характеристиками, в том числе так называемые биологически активные точки (БАТ). Само понятие «биологически активная точка» или «точка акупунктуры» включает в себя 0.5-1.5 см<sup>2</sup> кожной поверхности, подкожную клетчатку, а также нервные рецепторы, расположенные в коже, мышцах, сухожилиях, надкостнице и периваскулярных сплетениях [1]. Все точки активности принято подразделять на поверхностные и глубокие, а также постоянные, которые располагаются у разных видов животных в строго определенных участках тела, и блуждающие. Последние появляются только в период заболевания каких-либо органов и являются одним из диагностических признаков патологического процесса. Причем, появление блуждающих точек отмечается на начальных стадиях заболевания. Большинство точек парные и располагаются на правой и левой половинах тела, благодаря чему возможна дифференциальная диагностика органов разных сторон [2]. Расположение точек акупунктуры проецируется в местах выхода нервов и сосудов или их бифуркации [3]. В результате анализа доступной литературы отечественных и зарубежных авторов, установлено, что вопросы микроструктуры биологически активных точек у животных еще мало изучены. В связи с этим, определилась цель наших исследований, а возросший интерес к собаководству и увеличение поголовья собак определило вид исследуемых животных.

Целью данной работы стало проведение структурного анализа микроанатомического строения БАТ различных мест их локализации у собак.



## Материал и методика

Материалом для гистологического исследования послужили кусочки кожи вместе с подкожной жировой клетчаткой и фасциями, размером 1.0×1.0×0.5 см, из мест залегания точек акупунктуры. Исследованию подвергались и участки кожи, не имеющие точек акупунктуры (интактная кожа). Учитывая, что во время болезни на коже животных появляются дополнительные точки, нами исследованы только клинически здоровые животные. Кроме этого, во избежание неточностей в определении топографии точек акупунктуры лопатки и плеча, после обнаружения БАТ на трупe через 48 часов эта область исследовалась дополнительно.

Материал для исследования фиксировали в 10%-ном нейтральном формалине. После фиксации его заливали в парафин, а затем получали срезы на санном микротоме МС-2 и на замораживающем микротоме с термоэлектрическим охлаждающим столиком ТОС-1. Гистологические срезы окрашивали гематоксилин-эозином [4] и проводили импрегнацию азотнокислым серебром [5]. Подготовленные препараты исследовались и фотографировались под микроскопом МБИ-6 и МБИ-11 с объективами ×10; ×20; ×40 и окулярами ×8; ×10; ×17. При фотографировании под микроскопом МБИ-11 применялась микрофотонасадка МФН 12. Для измерения микроархитектоники использовали микрометр МОБ-1-15 (ГОСТ-151-50-69). Всего было получено более 1000 снимков. Весь цифровой материал обработан методами вариационной статистики [6].

## Результаты и обсуждение

При изучении гистологического строения мест локализации биологически активных точек в строении кожи обнаружен ряд особенностей. Так, в исследуемых областях (области лопатки и плеча) как в местах залегания точек, так и в нейтральной коже (участок кожи, не содержащий точек акупунктуры) обнаружено три основных структурных слоя: эпидермис, дерма и подкожная клетчатка.

Эпидермис кожи в биологически активных точках области лопатки в среднем составил  $48.14 \pm 4.09$  мкм., что превышает толщину эпидермиса мест локализации БАТ плеча, которая в свою очередь имеет среднее арифметическое  $37.20 \pm 2.17$  мкм. Толщина же эпидермиса в интактной (или нейтральной) коже составила в среднем  $54.92 \pm 3.99$  мкм. Если за 100% принять эпидермис нейтральной кожи, то доля толщины эпидермиса области плеча составила 29%, области лопатки – 38%, в области плечевого сустава – 18%, а в области ости лопатки – всего 15%.

Изучив гистологическое строение эпидермиса, отметили наличие трех хорошо выраженных слоев: базального, шиповатого и рогового. Зернистый и блестящий слои нами не обнаружены. Толщина слоев эпидермиса в обычной коже и в местах локализации биологически активных точек также различна. Так, в коже, не имеющей точек акупунктуры, клетки на базальной мембране расположены более компактно, чем в местах залегания БАТ. Толщина же базального слоя в биологически активных точках составляет  $5.64 \pm 3.35$  мкм., тогда как толщина этого же слоя в коже рядом лежащих участков составила  $15.91 \pm 2.98$  мкм.

Шиповатый слой эпидермиса в точках акупунктуры представлен многоугольными клетками, расположенными в несколько рядов и лежащими более свободно, чем в участках кожи, не содержащей БАТ. Его толщина в местах локализации точек акупунктуры –  $18.00 \pm 4.33$  мкм., в коже рядом лежащих участков –  $27.00 \pm 2.79$  мкм.

Роговой слой представлен мертвыми плоскими отслоившимися клетками в виде чешуй и в разных участках имеет толщину в среднем  $28.12 \pm 0.50$  мкм.

Собственно кожа, или дерма, представлена сосочковым и сетчатым слоями. Сосочковый слой дермы образован в основном коллагеновыми волокнами. В отличие от эпидермиса, толщина сосочкового слоя в местах локализации биологически активных точек больше чем в коже, не имеющей точек, и составила  $18.80 \pm 0.06$  мкм, тогда как в нейтральной коже она составила  $17.20 \pm 0.05$  мкм.

Расположение волос в БАТ наблюдается в виде пучков, в которых преобладают волосы, состоящие из трех структурных элементов: кутикулы, коркового и мозгового вещества, практически не имеющие полости. В коже рядом лежащих участков подав-

ляющее большинство волос – мелкие и расположены более равномерно. В их составе присутствуют два мощных элемента структуры волоса: кутикула и корковый слой; тогда как мозговой слой истончен. В волосяном покрове кожи БАТ практически нет полостей, в отличие от кожи участков, не содержащих точек акупунктуры. В интактных участках кожи встречаются одиночные волосы, чего не наблюдается в коже мест локализации биологически активных точек исследуемых областей.

Рыхлая соединительная ткань богата кровеносными сосудами и содержит все звенья кровеносного русла. Общее количество сосудов в местах локализации биологически активных точек превышает количество сосудов в рядом расположенных участках кожи. Количество артерий в коже, не содержащих БАТ, составило 38%, тогда как в местах локализации точек акупунктуры – 62%. Количество венозных сосудов в местах залегания БАТ – 56%, а в окружающей коже – 44%. Количество артериол как в местах локализации точек, так и в окружающей коже практически одинаково и составило по 50%.

Диаметр сосудов различен в области точек и в коже рядом расположенных участков. Диаметр артерий и артериол в БАТ превышает диаметры этих сосудов в окружающих тканях, и составил: диаметр артерий –  $86.11 \pm 7.56$  мкм (в БАТ) и  $72.75 \pm 4.97$  мкм (кожа, не имеющая точек акупунктуры). Диаметр артериол в местах локализации БАТ –  $34.89 \pm 2.82$  мкм, а в коже, не имеющей точек –  $37.62 \pm 2.82$  мкм. Диаметр вен в местах локализации точек составил в среднем  $247.12 \pm 51.41$  мкм. В коже, не содержащей точек, диаметр вен в среднем составил  $200.20 \pm 15.78$  мкм.

В местах локализации БАТ обнаружены образования, в состав которых входят артериолы и лежащие около них венулы. Наличие такой сети значительно увеличивает объем крови, идущей на периферию. В местах залегания точек активности отмечается большое количество нервных волокон различной толщины. Нервные волокна по мере удаления от основных стволов утрачивают свою плотность и теряются в рыхлой соединительной ткани. В местах биологической активности обнаружены инкапсулированные нервные окончания в виде телец Фатера-Пачини и Мейснера. В области расположения БАТ локализуются скопления телец, в количестве семи-одиннадцати штук. Размеры их в коже, не содержащей точек акупунктуры, меньше размеров в местах локализации БАТ. Так, ширина тельца Фатера-Пачини в точках составила в среднем  $20.26 \pm 4.56$  мкм, ширина этого тельца в обычной коже составила  $14.62 \pm 6.08$  мкм. Длина тельца в БАТ –  $149.10 \pm 2.42$  мкм., а в коже, не содержащей точек –  $25.90 \pm 7.96$  мкм.

Впервые предпринята попытка сопоставить у животных кожу мест локализации точек акупунктуры с кожей, их не содержащей. При проведении структурного анализа строения кожного покрова, нами было отмечено, что клетки базального и шиповатого слоев эпидермиса в местах залегания биологически активных точек лежат более свободно, чем в остальных участках кожи. Общая толщина эпидермиса в обычной коже превышает толщину эпидермиса точек акупунктуры. Нами установлено, что толщина сосочкового слоя кожи, содержащей БАТ незначительна, но превышает таковую в остальных участках кожи. Шерстный покров областей локализации точек и окружающей ткани также имеет особенности. Нами отмечено, что в области локализации БАТ большинство волос имеют хорошо развитое мозговое вещество и практически не имеют полостей. В отличие от мест локализации ТА, в остальной коже подавляющее большинство волос – со слабо развитым мозговым веществом и значительными полостями. Все волосы получают питательные вещества из кровеносных сосудов, сеть оплетающих волосяные луковичи.

Не исключено, что именно в связи с этим отмечается большее количество сосудов в местах точек акупунктуры, по сравнению с кожей, не имеющей БАТ. Гребешки дермы в области точек акупунктуры крупнее, чем в обычной коже, а в более крупном сосочке отмечается более обширная сосудистая сеть. Непосредственно под эпидермисом расположено артериальное звено микроциркуляторного русла. Венозное звено располагается в сетчатом слое.

В точках акупунктуры исследованной области помимо большого количества нервных волокон различной толщины обнаружены инкапсулированные нервные окончания в виде телец Фатера-Пачини и единичных телец Мейснера. Причем, впервые нами обнаружены скопления телец Фатера-Пачини в количестве семи-



одиннадцати штук. В коже, не имеющей точек акупунктуры, нами обнаруживались единичные тельца Фатера-Пачини, причем на довольно большом расстоянии друг от друга. Кроме того, в области БАТ иногда встречались как тельца Фатера-Пачини, так и тельца Мейснера. В коже, не содержащей точек акупунктуры, тельца Мейснера располагаются в сосочковом слое дермы, тесно прилегая к базальной мембране. А тельца Фатера-Пачини – в более глубоких слоях дермы. Вместе эти два вида телец не обнаружены в обычной коже, тогда как в коже области локализации БАТ иногда обнаруживались их скопления.

### Выводы

Проведенные исследования дают более точную характеристику гистологического строения мест локализации биологически активных точек области лопатки и плеча собак. В целом, мы пришли к выводу, что кожа мест локализации точек акупунктуры, сохраняя общий план строения, имеет ряд своих особенностей, которые выражаются в меньшей толщине эпидермиса, но большей - в сосочковом слое; лучшим кровоснабжением, что характеризует большее количество сосудов, а также в наличии, практически на одном уровне, скоплений инкапсулированных нервных окончаний в виде телец Мейснера и Фатера-Пачини.

### Список литературы

1. Вержбицкая Н.И. Морфофункциональные параметры точек акупунктуры и связанных с ними внутренних органов в разных условиях эксперимента // Теория и практика рефлексотерапии. – Саратов, 1981. – С.56-60
2. Изучение активности кожных точек у экспериментальных животных/В.С. Гиразури, И.И. Левитская, Т.В. Галкина и др.// Клиническое и экспериментальное применение новых методик и аппаратуры. – М., 1976.- С.97-100.
3. Казеев Г.В. Ветеринарная акупунктура. – М.:РИО РГАЗУ, 2000.-398 с.
4. Волкова О.В., Елецкий Ю.К. Основы гистологии с гистологической техникой. – М., 1971. -217 с.
5. Куприянов В.В. Безинъекционная методика изучения сосудов на пленочных препаратах // Морфологические основы микроциркуляции. – М., 1965. – Вып.1. – С.11-12.
6. Лакин Г.Ф. Биометрия. – М.: Высшая школа, 1990. – 352 с.

## MICROSTRUCTURAL FEATURES OF BIOLOGICALLY ACTIVE POINTS OF DOGS

### **A.A. Gorbacheva**

*Belgorod State National Research University,  
85 Pobedy St., Belgorod, 308015,  
Russia*

The article deals with the microstructural features of localization of biologically active points of the dogs. Comparative characteristics of the skin of neutral sites and the sites of localization of points of activity are given. It has been established that the thickness of the layers of the skin in areas of detection of biologically active points is less than in a neutral skin. The number of vessels in the skin, taken from the localization of BAP is bigger than in neutral. The diameter of blood vessels in neutral skin is less than in the localization of points. In the region where the points marked by clusters of activity and Meissner corpuscles Father Pacini.

Key words: biologically active points, the dog, the dermis, encapsulated nerve endings, arteries, arterioles, veins.

## ВЛИЯНИЕ КАЛЬЦИЕВОЙ НАГРУЗКИ НА ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА ЛЕЙКОЦИТОВ В ОПЫТАХ *IN VIVO* И *IN VITRO*<sup>1</sup>

**С.Г. Михайлова<sup>1</sup>**

**Н.А. Павлов<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Ярославский государственный педагогический университет им. К.Д. Ушинского  
Россия, 150000, г. Ярославль,  
ул. Республиканская, 108

<sup>2</sup> Белгородский государственный национальный исследовательский университет  
Россия, 308015,  
г. Белгород, ул. Победы 85

E-mail: ncpubl@gmail.com

Осуществлено изучение влияния концентрации ионов кальция на функциональные свойства лейкоцитов крови крыс. Установлено, что повышение концентрации ионов кальция в питьевой воде приводит к изменениям морфометрических характеристик белых клеток крови. В отличие от лимфоцитов, использование мембранного резерва нейтрофилами выражено сильнее. Осморегуляторные реакции лимфоцитов протекают эффективнее по сравнению с нейтрофилами. Непосредственное воздействие на лейкоциты крови ионов кальция приводит к увеличению объема клеток.

Ключевые слова: ионы кальция, лейкоциты, мембранный резерв, осморегуляция.

### Введение

Ионы кальция участвуют во многих физиологических реакциях, протекающих в организме. Имеются данные об участии ионов кальция в формировании клеточных адаптивных реакций [1, 2, 3, 4], перераспределении цитоскелета и перемещении центров адгезии на мембране [5]. Избыточное поступление ионов кальция и накопление его в клетке может вызывать изменения структуры и функций ряда органоидов [6, 7].

Целью данного исследования является изучение влияния нормальной и повышенной концентрации ионов кальция на морфофункциональные свойства лейкоцитов крови.

### Объекты и методы исследования

Эксперименты проведены на лабораторных крысах линии Вистар, которых делили на группы случайным образом. Для изучения влияния концентрации ионов кальция ( $Ca^{2+}$ ) на функциональные и морфометрические свойства лейкоцитов было проведено две серии опытов.

В первой серии изучали влияние концентрации  $Ca^{2+}$  на лейкоциты в опытах *in vivo*. Животных экспериментальной группы в течение 6 месяцев поили жесткой водой, концентрация  $Ca^{2+}$  составляла 66.5 мг/л, контрольная группа получала имитаты питьевой воды с концентрацией  $Ca^{2+}$  9.75 мг/л. Суспензию лейкоцитов, выделенную из крови животных экспериментальной и контрольной групп, использовали для оценки осморегуляторных реакций и мембранного резерва белых клеток крови при помощи комплексного метода [8].

Во второй серии изучали непосредственное влияние различных концентраций  $Ca^{2+}$  на лейкоциты в опытах *in vitro*. Для этого в суспензию лейкоцитов, разделенную на две части, добавляли раствор  $CaCl_2$ . Первая часть суспензии – контрольная (концентрация  $Ca^{2+}$  – 2.23 ммоль/л), вторая часть – экспериментальная (концентрация  $Ca^{2+}$  – 2.52 ммоль/л). Содержание  $Ca^{2+}$  в контрольной пробе соответствовало концен-

<sup>1</sup> Работа выполнена при поддержке Госконтракта 14.740.11.0956 от 29.04.2011 г. и федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы по теме: «Клеточный ответ на растворимые и нерастворимые (в форме наночастиц) металлы в опытах *in vivo* и *in vitro*» (шифр заявки «2010-1.3.2-203-002-010»).



трации этого иона в сыворотке крови крыс интактной группы в опытах *in vivo*, а в экспериментальной – концентрации  $Ca^{2+}$  в сыворотке крови животных, употреблявших жесткую воду. Контрольную и экспериментальную пробы инкубировали 30 мин в термостате при температуре  $+37^{\circ}C$ .

Для исследования степени влияния фиксатора на геометрические характеристики белых клеток крови суспензию лейкоцитов делили на три равные части – суспензия клеток № 1, суспензия клеток № 2 и суспензия клеток № 3. Первую после инкубации в изотоническом и сильно-гипотоническом растворах хлорида натрия помещали в камеру Горяева. Клетки второй суспензии сразу после инкубации фиксировали глутаровым альдегидом в лунке планшетки, после чего готовили мазок. Из клеток третьей суспензии после инкубации готовили мазки и затем фиксировали глутаровым альдегидом.

Для оценки использования мембранного резерва и осморегуляторных реакций клеток лейкоциты подвергали гипоосмотическим нагрузкам в 0.2% растворе  $NaCl$ . После всех экспозиционных нагрузок готовили мазки, которые фиксировали глутаровым альдегидом. Клетки сканировали на атомно-силовом микроскопе «ИНТЕГРА Вита» (НТ-MDT, Россия) полуконтактным методом с последующим определением морфометрических показателей (диаметра, высоты, объёма, площади поверхности клеток). По измеренным геометрическим характеристикам рассчитывали коэффициент уплотненности (КУ) – отношение площади эллипса (проекция в плоскости длинных осей) к их высоте – с последующей оценкой пластичности клеток.

### Результаты и их обсуждение

Установлено, что лейкоциты, не подвергавшиеся действию фиксатора, имели больший диаметр, чем клетки, фиксированные в лунке планшетки, что обусловлено незначительным гипертоническим сжатием клеток под влиянием раствора глутарового альдегида (таблица 1).

Таблица 1

**Диаметры лейкоцитов после инкубации в растворах кальция ( $Ca^{2+}$ )  
двух разных концентраций ( $M \pm m$ )**

Группа	Суспензия клеток № 1		Суспензия клеток № 2	
	$NaCl$ 0.9%	$NaCl$ 0.2%	$NaCl$ 0.9%	$NaCl$ 0.2%
Контроль	$8.80 \pm 0.09$	$10.51 \pm 0.15^*$	$5.99 \pm 0.05^{\circ}$	$6.23 \pm 0.07^{* \circ}$
Р-р кальция № 1	$8.49 \pm 0.15$	$11.16 \pm 0.10^{* a}$	$6.13 \pm 0.05^{\circ}$	$6.10 \pm 0.06^{\circ}$
Р-р кальция № 2	$9.71 \pm 0.25^{a b}$	$10.74 \pm 0.20^{* b}$	$5.97 \pm 0.07^{\circ}$	$6.04 \pm 0.05^{\circ a}$

Примечание:

\* – достоверность различий по сравнению с изотоническим раствором  $NaCl$  (критерий Стьюдента,  $p < 0.01$ );

$^{\circ}$  – достоверность различий по сравнению с суспензией клеток № 1 (критерий Стьюдента,  $p < 0.01$ );

a – достоверность различий по сравнению с клетками контрольной группы животных (критерий Стьюдента,  $p < 0.01$ );

b – достоверность различий по сравнению с клетками, инкубированными в растворе кальция № 1 (критерий Стьюдента,  $p < 0.01$ ).

Общая картина изменений морфометрических показателей, а также использования мембранного резерва клеток, не подвергавшихся фиксации, была сходна с аналогичными показателями лейкоцитов, фиксированных на стекле. При фиксации клеток в лунке планшетки геометрические параметры и показатели относительного мембранного резерва отличались от таковых у нефиксированных клеток (рис. 1 и 2).

Следовательно, метод фиксации лейкоцитов, помещенных на стекло в виде мазка, является наиболее приемлемым для проведения подобных исследований.



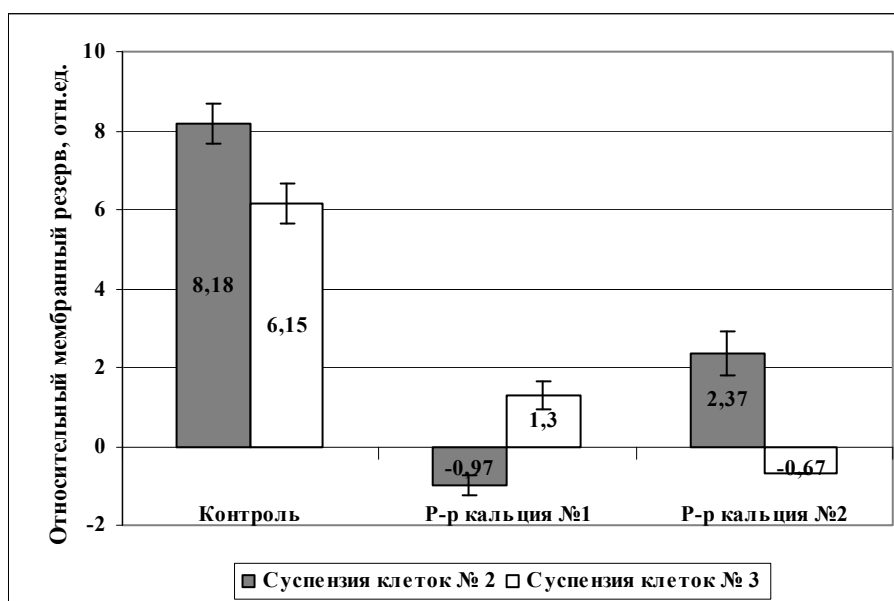


Рис. 1. Относительный мембранный резерв лейкоцитов (суспензия клеток № 1)

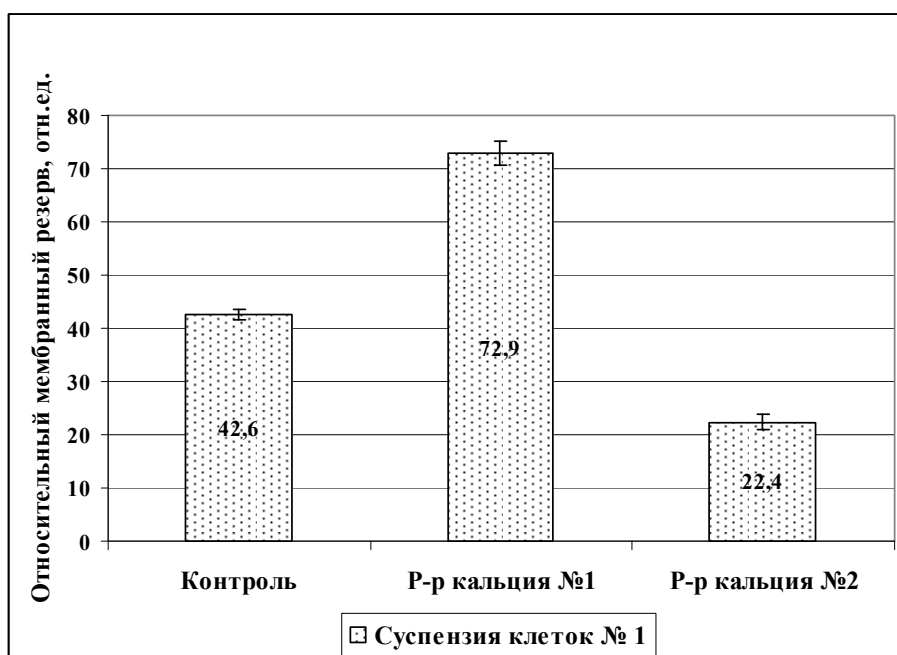


Рис. 2. Относительный мембранный резерв лейкоцитов (суспензия клеток № 2 и № 3)

В экспериментах *in vivo* по изучению влияния  $Ca^{2+}$  было выявлено, что мембранный резерв использовался лимфоцитами контрольной и опытной групп животных, употреблявших жесткую воду, примерно одинаково. Увеличение диаметра клеток после инкубации в 0.2% -ом растворе  $NaCl$  составляло 26.4% – контрольная группа и 25.4% – опытная группа. Мембранный резерв нейтрофилов в опытной группе использовался эффективнее, чем в контрольной группе животных. Увеличение диаметра гематоцитов после инкубации в 0.2%-ом растворе  $NaCl$  составляло 24.1% в опытной группе и 20.7% в группе контроля (таблица 2).



Таблица 2

**Диаметры лейкоцитов в изотоническом и сильно-гипотоническом растворах хлорида натрия ( $M \pm m$ )**

Группа	$NaCl$ 0.9 %		$NaCl$ 0.2 %, 60 с	
	нейтрофилы, мкм	лимфоциты, мкм	нейтрофилы, мкм	лимфоциты, мкм
Контроль	9.2±0.06	6.7±0.04	11.1±0.06 *	8.4±0.05 *
Опыт	8.7±0.06	6.7±0.04	10.8±0.06 * <sup>a</sup>	8.4±0.04 *

Примечание:

\* — достоверность различий по сравнению с изотоническим раствором (0.9%  $NaCl$ ) (критерий Стьюдента,  $p < 0.01$ );

<sup>a</sup> — достоверность различий по сравнению с интактными животными (критерий Стьюдента,  $p < 0.01$ ).

ление исходного объёма было менее эффективным как у лимфоцитов, так и у нейтрофилов по сравнению с группой контроля.

Таблица 3

**Диаметры лейкоцитов в изотоническом и умеренно-гипотоническом растворах хлорида натрия при разном времени инкубации ( $M \pm m$ )**

Группа	Лейкоциты	$NaCl$ 0.9%	$NaCl$ 0.45%, время инкубации 60 секунд	$NaCl$ 0.45% время инкубации 1 час
Контроль	лимфоциты	6.7±0.04	7.4±0.04 *	6.9±0.04
Опыт		6.7±0.04	7.6±0.05 * <sup>a</sup>	7.0±0.04 <sup>o</sup>
Контроль	нейтрофилы	9.2±0.06	9.9±0.07 *	9.5±0.08 <sup>o</sup>
Опыт		8.7±0.06	9.7±0.07 *	9.2±0.07 <sup>o</sup>

Примечание:

\* — достоверность различий по сравнению с 0.9% раствором  $NaCl$  (критерий Стьюдента,  $p < 0.01$ );

<sup>a</sup> — достоверность различий по сравнению с контролем (критерий Стьюдента,  $p < 0.01$ );

<sup>o</sup> — достоверность различий по сравнению с 0.45% раствором  $NaCl$  (время инкубации 60 с) (критерий Стьюдента,  $p < 0.01$ ).

В опытах *in vitro* было установлено увеличение объёма лейкоцитов в экспериментальной пробе при экспозиции в изо- и гипотоническом растворах  $NaCl$  по сравнению с контролем. Объём белых клеток крови составлял 80.8±10.3 мкм<sup>3</sup> (0.9% раствор  $NaCl$ ) и 96.7±11.9 мкм<sup>3</sup> (0.2% раствор  $NaCl$ ), а в контрольной пробе 54.9±9.2 мкм<sup>3</sup> и 87.4±44.7 мкм<sup>3</sup>, соответственно. В экспериментальной пробе при инкубации в 0.2% растворе  $NaCl$  объём увеличивается на 19.7%, тогда как в контрольной этот показатель составляет 59.0% ( $p < 0.05$ ).

Параметры высоты белых клеток экспериментальной пробы превышали значения, полученные в контроле, на 36.4%. Значения коэффициента уплотнённости лейкоцитов экспериментальной пробы свидетельствуют о снижении распластанности белых клеток крови в результате воздействия повышенной концентрации ионов кальция на 23% (0.9% раствор  $NaCl$ ) и на 41% (0.2% раствор  $NaCl$ ) (табл. 4).

Таблица 4

**Показатели высоты лейкоцитов крови ( $M \pm m$ )**

Группа	Средняя высота клеток, мкм		Коэффициент уплотнённости	
	$NaCl$ - 0.9%	$NaCl$ - 0.2%	$NaCl$ - 0.9%	$NaCl$ - 0.2%
Контроль	1.1±0.19	1.1±0.37	74.1±21.84	109.7±38.64 <sup>b</sup>
$Ca^{2+}$ 2.52 ммоль/л	1.5±0.13 <sup>a</sup>	1.5±0.23 <sup>a</sup>	56.9±10.26 <sup>a</sup>	64.8±11.28 <sup>a,b</sup>

<sup>a</sup> — достоверность различий по сравнению с контрольной группой (непарный критерий Вилкоксона,  $p < 0.05$ ).

<sup>b</sup> — достоверность различий по сравнению с изотоническим раствором (непарный критерий Вилкоксона,  $p < 0.05$ ).

### Заключение

При повышении концентрации ионов кальция в питьевой воде происходит изменение морфометрических характеристик лейкоцитов. Использование мембранного резерва нейтрофилами осуществляется эффективнее по сравнению с лимфоцитами. Осморегуляторные реакции реализуются лейкоцитами опытной группы менее выражено по сравнению с контролем. Восстановление исходного объема клеток происходит эффективнее у лимфоцитов по сравнению с нейтрофилами. Ионы кальция при непосредственном воздействии на лейкоциты способствуют увеличению объема клеток по сравнению с контролем. Рост показателей объема лейкоцитов после инкубации в растворе с повышенной концентрацией кальция осуществляется вследствие увеличения высоты белых клеток крови, а не за счет их распластанности на поверхности подложки.

### Список литературы

1. Александрова Е.А. Кальцийтранспортирующие системы и регуляция концентрации кальция в кардиомиоцитах // *Успехи физиологических наук*. – 2001. – Т. 32. – № 3. – С. 40-48.
2. Меерсон Ф.З., Пшенникова М.Г. Стресс-лимитирующие системы организма и новые принципы профилактической кардиологии // *Обзорная информация медицины и здравоохранения*. – М.: Союзмединформ, 1988. – 72 с.
3. Пшенникова М.Г., Хаспеков Г.Л., Татаренко А.О. Адаптация к физической нагрузке увеличивает экспрессию генов Са-АТФазы саркоплазматического ретикулума сердечной мышцы // *Бюллетень экспериментальной биологии и медицины*. – 1999. – Т. 128. – № 7. – С. 24-28.
4. Cheng H., Wei C., Wang X., Chen M., Ouyang K., Song L-S. Calcium flickers steer cell migration // *Nature*. – 2009. – Vol. 457. – №12. – P. 901-906.
5. Trump B.F., Berezedky I.K. Deregulation of cytoskeleton and Ca<sup>++</sup> regulation in cell injury // *Journal of Cell Biology*. – 1982. – Vol. 2. – P. 69-76.
6. Козловский В.Л. Регуляция кальциевого гомеостаза в нервных клетках // *Успехи физиологических наук*. – 1995. – Т. 26. – № 3. – С. 14-24.
7. Фёдорова М.З., Левин В.Н. Метод комплексного исследования геометрии, площади поверхности, резервных возможностей мембраны и осморегуляции лейкоцитов крови // *Клиническая лабораторная диагностика*. – 1997. – № 11. – С. 44-46.
8. Григорьев А.И., Ларина И.М. Принципы организации обмена кальция // *Успехи физиологических наук*. – 1992. – Т. 23. – № 3. – С. 25-52.

## INFLUENCE OF CALCIUM LOADING ON FUNCTIONAL PROPERTIES OF LEUKOCYTES IN THE IN VIVO AND IN VITRO EXPERIMENTS

**S.G. Mihailova<sup>1</sup>**  
**N.A. Pavlov<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Yaroslavl Pedagogical State University,  
Respublikanskaya St. 108, Yaroslavl,  
150000, Russia  
<sup>2</sup>Belgorod State National Research  
University,  
Pobedy St. 85, Belgorod, 308015, Russia  
E-mail: ncpvbl@gmail.com

There has been held an investigation of calcium ions influence on functional properties of rats' blood leukocytes. The increase of calcium concentration in drinking water leads to changes of white blood cells' morphometric characteristics. In comparison with lymphocytes the usage of membrane reserve by neutrophils is higher. Blood cells' osmoregulation reactions are more effectively used by lymphocytes in contrast to neutrophils. The influence of calcium ions on leukocytes promotes growth of the cells' volume.

Key words: calcium ions, leukocytes, reserve of membrane, osmoregulation.



## ВОЗРАСТНЫЕ И ПОЛОВЫЕ ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ И ЖЕСТКОСТИ МЕМБРАН ЛЕЙКОЦИТОВ

**В.Н. Тукин**

**М.З. Федорова**

*Белгородский государственный  
национальный  
исследовательский  
университет  
Россия, 308015, г. Белгород,  
ул. Победы 85*

*E-mail: fedorova@bsu.edu.ru*

Возрастные изменения геометрических параметров лейкоцитов крови здоровых мужчин и женщин проявляются в виде увеличения диаметра, площади поверхности и объема клеток. У лиц обоего пола с возрастом регистрируется повышение жесткости мембран лейкоцитов. Все выявленные изменения более выражены у женщин.

Ключевые слова: нейтрофилы, лимфоциты, морфометрические параметры, жесткость мембран, атомно-силовая микроскопия.

### Введение

На сегодняшний день имеется большое количество исследований, посвященных изучению гемодинамики, но до последнего времени, в связи с малым содержанием лейкоцитов в крови (около 1% от общей массы клеток), не принималось во внимание их влияние на поток крови через микрососуды. Вместе с тем, лейкоциты ведут себя в потоке, как более упругие и резистентные, по сравнению с эритроцитами, клетки, которые могут существенно нарушать кровоток в капиллярах вплоть до полного его прекращения. Поведение белых клеток крови в микрососудах зависит, прежде всего, от площади поверхности и объема этих клеток, а также от их механических свойств. Прижизненные размеры лейкоцитов незначительно отличаются от размеров эритроцитов. Основные различия заключаются в корпускулярном объеме. Кроме того, лейкоциты имеют упругое ядро, занимающее значительный объем: у гранулоцитов – 20%, у лимфоцитов – 44% [1].

Современные компьютеризированные цитологические методы, применяемые в области исследования клеточной физиологии, дают возможность изучить морфологию клеток на качественно новом уровне, с более высокой точностью и воспроизводимостью, чем при мануальных методах. Экспериментальными и клиническими исследованиями установлено, что изменение контактных и эластичных свойств клеток относится к числу универсальных составляющих адаптационных и компенсаторных реакций организма при дисфункциях различного генеза и степени выраженности [2, 3, 4].

Данные многомерного анализа клеток положены в основу создания моделей, позволяющих раскрывать фундаментальные аспекты патогенеза многих функциональных состояний и нарушений в организме. В трехмерном изображении, полученном с помощью электронной микроскопии, заложены сведения об особенностях строения поверхностной цитоархитектоники мембраны, позволяющие структурно охарактеризовать различные формы клеток, определить их функциональные особенности и описать геометрические характеристики [5].

Актуальность исследования определяется недостаточной решенностью одной из проблем физиологии и медицины – динамики возрастно-половых характеристик микрореологических свойств клеток крови [6, 7].

Цель работы – изучение геометрических показателей и жесткости мембран лейкоцитов крови практически здоровых мужчин и женщин различных возрастных групп. Задачи исследования: 1) методами атомно-силовой микроскопии установить диаметр, величину объема, площади поверхности лейкоцитов крови; 2) определить

показатели жесткости мембран лейкоцитов; 3) оценить возрастную динамику изученных показателей.

### Материал и методы

Объектом исследования служила кровь 43 практически здоровых доноров Белгородской областной станции переливания крови. Мужчины и женщины были разделены на 2 возрастные группы. Среди мужчин: 1 группа (n=13) – мужчины от 21 до 34 лет (взрослые), 2 группа (n=10) – мужчины от 35 до 60 лет (зрелый возраст). Среди женщин: 1 группа (n=10) – женщины от 20 до 34 года (взрослые), 2 группа (n=10) – женщины от 35 до 55 лет (зрелый возраст).

Кровь для исследования получали из локтевой вены. В качестве антикоагулянта использовали гепарин в количестве 20 ед./мл. Кровь центрифугировали 10 мин при 1500 об./мин, собирали нижнюю часть плазмы, богатую лейкоцитами, и лейкоцитарное кольцо. Примесь эритроцитов разрушали 0.83%-ным раствором хлорида аммония. Клетки дважды отмывали изотоничным буферным раствором (раствор Дульбекко, pH=7.4). На атомно-силовом микроскопе ИНТЕГРА ВИТА (Россия, Зеленоград) проводили морфометрию лейкоцитов, определяли средний объем и площадь поверхности с использованием программного обеспечения «Nova 1.0.26 Build 1397» (НТ МДТ). Сканировали нативные клетки в условиях влажной камеры, предотвращающей их высыхание, при комнатной температуре. АСМ-изображения клеток для всех серий были получены в режиме полуконтактного сканирования.

Результаты, полученные при проведении исследования, были обработаны методами вариационной статистики с использованием программы «Microsoft Excel». Степень достоверности межгрупповых различий определяли по критерию t Стьюдента, статистически достоверными считались результаты при  $p \leq 0.05$ .

### Результаты и обсуждение

Геометрические показатели и механические свойства лейкоцитов здоровых мужчин и женщин представлены в таблицах 1 и 2. При сравнении морфометрических параметров лимфоцитов мужчин, мы установили достоверное увеличение (на 22.3%) площади поверхности этого клеточного пула у зрелого возраста (группа 2). Вместе с тем, диаметр и объем лимфоцитов в численных значениях больше у мужчин 1-ой группы, но данные различия недостоверны. По геометрическим показателям нейтрофилов крови достоверных различий не установлено. В качестве тенденции проявляется увеличение у мужчин зрелого возраста диаметра, площади поверхности и объема нейтрофилов по сравнению с мужчинами 1 группы. Выявленные возрастные изменения свидетельствуют о создании условий, затрудняющих кровотоки по мелким капиллярам.

Таблица 1

Показатели лейкоцитов мужчин (M±m)

Показатель, ед. измерения	Мужчины	
	1 группа (n=13)	2 группа (n=10)
Диаметр лимфоцитов, мкм	8.16±0.07	7.73±0.09
Площадь поверхности лимфоцитов, мкм <sup>2</sup>	95.05±2.84	116.26±4.18*
Объем лимфоцитов, мкм <sup>3</sup>	130.02±5.21	129.28±5.71
Средняя жесткость мембраны лимфоцитов, Pa	8.70±0.93	9.17±1.11
Диаметр нейтрофилов, мкм	12.64±0.08	13.26±0.11
Площадь поверхности нейтрофилов, мкм <sup>2</sup>	144.89±3.18	150.44±6.17
Объем нейтрофилов, мкм <sup>3</sup>	103.17±5.89	104.95±6.08
Средняя жесткость мембраны нейтрофилов, Pa	9.10±1.03	9.48±1.45

Примечание: \* – достоверность различий между мужчинами по критерию Стьюдента ( $p < 0.05$ ).



Аналогичные показатели лейкоцитов здоровых женщин представлены в табл. 2. На основе сравнения морфометрических параметров установлено достоверное увеличение (на 22.6%) площади поверхности лимфоцитов у женщин зрелого возраста (группа 2). Вместе с тем, диаметр лимфоцитов в численных значениях больше у взрослых женщин, но данные различия недостоверны.

Диаметр нейтрофилов также достоверно больше у женщин группы 2 (на 9.3%). По другим геометрическим показателям нейтрофилов крови достоверные различия не установлены. В качестве тенденции проявляется увеличение у женщин зрелого возраста диаметра нейтрофилов.

Таблица 2

## Показатели лейкоцитов женщин (M±m)

Показатель, ед. измерения	Женщины	
	1 группа (n=10)	2 группа (n=10)
Диаметр лимфоцитов, мкм	8.24±0.06	8.70±0.08 <sup>#</sup>
Площадь поверхности лимфоцитов, мкм <sup>2</sup>	107.05±2.53 <sup>#</sup>	131.26±3.68 <sup>*#</sup>
Объем лимфоцитов, мкм <sup>3</sup>	141.07±5.01	137.28±4.99
Средняя жесткость мембраны лимфоцитов, Pa	8.82±1.02	9.04±0.96
Диаметр нейтрофилов, мкм	12.82±0.08	14.01±0.12 <sup>*#</sup>
Площадь поверхности нейтрофилов, мкм <sup>2</sup>	155.89±3.10 <sup>#</sup>	159.44±6.07
Объем нейтрофилов, мкм <sup>3</sup>	105.88±5.99	109.95±5.22
Средняя жесткость мембраны нейтрофилов, Pa	9.16±1.12	9.49±1.32

Примечание: \* – достоверность различий между женщинами по критерию Стьюдента ( $p < 0,05$ ); # – достоверность различия между мужчинами и женщинами внутри одновозрастных групп.

При сравнении между собой одновозрастных групп разного пола, было установлено, что у взрослых женщин больше площадь поверхности лимфоцитов и нейтрофилов (на 12.6% и 7.6% соответственно) по сравнению со взрослыми мужчинами. У зрелых женщин также больше диаметр и площадь поверхности лимфоцитов (на 12.5% и 12.9% соответственно), а также диаметр нейтрофилов (на 5.7%) по сравнению со зрелыми мужчинами.

На основании результатов силовой спектроскопии лимфоцитов и нейтрофилов установлено, что с возрастом наблюдается повышение жесткости мембран лейкоцитов. Причем данные изменения более выражены у женщин.

### Заключение

На основе проведенных исследований выявлены возрастные изменения геометрических показателей и механических свойств (жесткости) лейкоцитов. У мужчин и женщин зрелого возраста, по сравнению с взрослыми, установлено достоверное увеличение площади поверхности лимфоцитов, а также диаметра нейтрофилов у зрелых женщин. Как тенденцию можно рассматривать увеличение у лиц зрелого возраста диаметра, площади поверхности и объема лимфоцитов и нейтрофилов по сравнению с взрослыми людьми. Сравнительный анализ одновозрастных групп разного пола показал, что у взрослых женщин, по сравнению с мужчинами, больше площадь поверхности лимфоцитов и нейтрофилов; у зрелых женщин – больше диаметр и площадь поверхности лимфоцита, а также диаметр нейтрофилов. Это свидетельствует о развитии условий, затрудняющих кровотоков по мелким капиллярам. Результаты силовой спектроскопии лимфоцитов и нейтрофилов выявили, что с возрастом наблюдается повышение жесткости мембран лейкоцитов. Все выявленные возрастные сдвиги более выражены у женщин.

### Список литературы

1. Редчиц Е.Г., Парфенов А.С. Реологические свойства лейкоцитов и их участие в микроциркуляции крови // Гематология и трансфузиология. – 1989. – Т. 34, № 12. – С. 40-45.
2. Агаджанян Н.А., Федорова М.З. Реактивность лейкоцитов в различных условиях среды // Экология человека. – 2001. – № 4. – С. 66-68.
3. Федорова М.З. Реактивность лейкоцитов крови при различных функциональных нарушениях. – М.; Ярославль, 2001. – 68 с.
4. Федорова М.З., Левин В.Н., Горичева В.Д., Тяпкина А.Д. Функциональная активность нейтрофилов при перегревании, охлаждении и дегидратации организма // Тез. докл. XVIII съезда физиол. об-ва им. И.П. Павлова. – Казань, 2001. – С. 442.
5. Муравьев А.В., Чепоров С.В. Гемореология (экспериментальные и клинические аспекты реологии крови). – Ярославль: Изд-во ЯГПУ, 2009. – 178 с.
6. Саркисян Г.П., Калинина И.А., Булычева Т.И. Иммунофенотипическая и функциональная характеристика лимфоцитов крови у больных апластической анемией на фоне иммуносупрессивной терапии // Гематология и трансфузиология. – 2003. – № 3. – С. 23-26.
7. Ярилин А.А. Гомеостатические процессы в иммунной системе. Контроль численности лимфоцитов // Иммунология. – 2004. – №5. – С. 312-318.

## AGE FEATURES OF CHANGES IN GEOMETRICAL STRUCTURE AND RIGIDITY OF LEUKOCYTE MEMBRANES OF MEN AND WOMEN

**V.N. Tugin**  
**M.Z. Fedorova**

*Belgorod State National Research University  
Pobedy St. 85, Belgorod, 308015, Russia  
E-mail: fedorova@bsu.edu.ru*

Age-related changes of geometrical parameters of white blood cells of healthy men and women appear as an increase in the diameter, surface area and volume of cells. The increasing with age rigidity of membranes of leukocytes in individuals of both sexes is recorded. All identified changes were more pronounced in women.

Key words: neutrophils, lymphocytes, morphometric parameters, the rigidity of membranes, atomic force microscopy.



## СЕЗОННЫЕ КОЛЕБАНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ФАГОЦИТОЗА ЭРИТРОЦИТОВ И ПОЛИМОРФНОЯДЕРНЫХ ЛЕЙКОЦИТОВ ПОЗВОНОЧНЫХ ЖИВОТНЫХ

**С.Д. Чернявских**  
**М.З. Федорова**  
**Е.В. Масленникова**

Белгородский государственный  
национальный  
исследовательский  
университет  
Россия, 308015, г. Белгород,  
ул. Победы 85

E-mail:  
Chernyavskikh@bsu.edu.ru

Изучены сезонные изменения показателей фагоцитоза клеток крови у некоторых представителей позвоночных животных. Установлено, что фагоцитарная активность ядерных эритроцитов аналогична полиморфноядерным лейкоцитам рыб, земноводных и птиц практически ко всем изучаемым объектам фагоцитоза. Показано, что в весенний период у рыб и земноводных самая высокая фагоцитарная активность к клеткам дрожжей, самая низкая – к сенной палочке. Фагоцитами птиц изучаемые объекты поглощаются одинаково активно. Отмечено снижение весной среднего числа поглощенных частиц фагоцитами у представителей всех изучаемых классов животных ко всем объектам фагоцитарной реакции в сравнении с осенью.

Ключевые слова: позвоночные животные, эритроциты, лейкоциты, фагоцитарная активность, фагоцитарный индекс.

### Введение

Согласно современным представлениям сезонные ритмы являются одной из форм приспособительных реакций организма к циклическим изменениям окружающей среды и присущи всем уровням биологической организации [1, 2]. Циркануальные колебания выявлены и описаны для многих показателей системы крови и иммунитета у млекопитающих животных и человека [3-5]. Вместе с тем, в хронобиологических исследованиях практически отсутствуют сведения о сезонных изменениях фагоцитарной активности эритроцитов и лейкоцитов у представителей низших позвоночных животных. Необходимость такого рода исследований обусловлена как теоретическим, так и практическим интересом [6]. Целью проведенной работы было изучение показателей фагоцитоза эритроцитов и лейкоцитов рыб, земноводных и птиц в осенний (октябрь-ноябрь) и весенний (апрель-май) периоды.

### Объекты и методы исследования

В работе использовали периферическую кровь, взятую у наркотизированных эфиром животных: курицы домашней (*Gallus domesticus*) (10 особей), лягушки озёрной (*Rana ridibunda*) (30 особей) и сазана (*Cyprinus carpio*) (30 особей). Забор крови у курицы осуществляли из крупных вен крыла, у лягушки и сазана – из сердца. В качестве антикоагулянта использовали гепарин (10 ед./мл.). Полученную кровь центрифугировали 4 мин. при 1500 об./мин., собирали слой лейкоцитов и обогащенную ими часть плазмы. В пробирке оставляли суспензию эритроцитов.

В опытах *in vitro* изучали один из основных показателей фагоцитоза – поглотительную способность клеток крови. Суспензии лейкоцитов и эритроцитов с объектами фагоцитарной реакции в соотношении 1:50 помещали в пробирки и инкубировали в течение 30 мин. Подсчитывали процент фагоцитирующих клеток (фагоцитарную активность) и среднее число поглощенных частиц (фагоцитарный индекс) [7]. При подсчете использовали иммерсионное увеличение – объектив ×90МИ, окуляр ×15. В качестве объектов фагоцитоза использовали инертные откалиброванные частицы агломерированного латекса (НИИМСК, Ярославль) диаметром 0.8 мкм, дрожжевые клетки (*Saccharomyces cerevisiae*) и сенную палочку (*Bacillus subtilis*) [8-12].



Статистическую обработку полученных числовых материалов и все виды анализа результатов проводили с помощью редактора *Microsoft Excel* и программы «Statistica» (версия 6.0). Достоверность различий определяли по *t*-критерию Стьюдента.

### Результаты и их обсуждение

Сравнительный анализ данных, полученных при изучении поглотительной способности эритроцитов низших позвоночных животных в весенний и осенний периоды, показал наличие сезонных колебаний показателей фагоцитарной активности и фагоцитарного индекса красных клеток крови (таблица 1).

Таблица 1

**Показатели поглотительной способности эритроцитов**

Объект фагоцитоза	Показатели поглотительной способности, ед. изм.	Период исследования	Вид животного		
			<i>C. carpio</i>	<i>R. ridibunda</i>	<i>G. domesticus</i>
Частицы латекса	ФА, %	Осенний	67.40±2.90	53.30±4.60 <sup>β</sup>	23.00±2.50 <sup>β#</sup>
		Весенний	39.00±1.00 <sup>*</sup>	22.50±1.50 <sup>*β</sup>	25.50±1.50 <sup>β</sup>
	ФИ, отн. ед.	Осенний	1.60±0.01	2.80±0.08 <sup>β</sup>	0.60±0.02 <sup>β#</sup>
		Весенний	0.41±0.01 <sup>*</sup>	0.24±0.03 <sup>*β</sup>	0.26±0.01 <sup>*β</sup>
Дрожжи	ФА, %	Осенний	72.40±2.30	48.80±4.10 <sup>β</sup>	31.00±0.50 <sup>β#&amp;</sup>
		Весенний	43.50±1.50 <sup>*&amp;</sup>	45.00±1.00 <sup>&amp;</sup>	32.50±2.50 <sup>β#&amp;</sup>
	ФИ, отн. ед.	Осенний	1.40±0.02 <sup>&amp;</sup>	1.80±0.06 <sup>β&amp;</sup>	0.31±0.01 <sup>β#&amp;</sup>
		Весенний	0.45±0.03 <sup>*</sup>	0.49±0.02 <sup>*&amp;</sup>	0.33±0.02 <sup>β#&amp;</sup>
Сенная палочка	ФА, %	Осенний	14.50±1.00 <sup>&amp;@</sup>	29.00±5.00 <sup>β&amp;@</sup>	19.75±1.25 <sup>β</sup>
		Весенний	18.80±2.20 <sup>&amp;@</sup>	18.70±1.70 <sup>@</sup>	24.70±1.30 <sup>*β#&amp;@</sup>
	ФИ, отн. ед.	Осенний	0.30±0.06 <sup>&amp;@</sup>	0.60±0.06 <sup>β&amp;@</sup>	0.20±0.05 <sup>&amp;@</sup>
		Весенний	0.23±0.05 <sup>&amp;@</sup>	0.19±0.02 <sup>*@</sup>	0.26±0.08

Примечание: здесь и далее ФА – фагоцитарная активность; ФИ – фагоцитарный индекс; достоверность различий: \* – весеннего периода с осенним, <sup>β</sup> – в сравнении с рыбой, <sup>#</sup> – в сравнении с лягушкой, <sup>&</sup> – в сравнении с частицами латекса, <sup>@</sup> – в сравнении с клетками дрожжей по *t*-критерию Стьюдента ( $p < 0,05$ ).

Осенью самый высокий процент фагоцитирующих эритроцитов к частицам латекса отмечается у сазана. По мере повышения уровня организации животных, значения этого показателя снижаются на 21% и 66% у лягушек и птиц, соответственно. Весной самая высокая ФА к латексу регистрируется также у рыб. При сравнении данных весеннего периода с осенним, фагоцитарная активность эритроцитов у рыб и земноводных к данному объекту фагоцитоза снижается примерно вдвое, у птиц этот показатель практически не изменяется. В весенние месяцы установлено снижение среднего числа поглощенных частиц латекса у всех изучаемых видов животных, особенно выраженное у земноводных.

Фагоцитарная активность эритроцитов опытных животных к клеткам дрожжей аналогична частицам латекса, за исключением процента фагоцитирующих клеток земноводных весной, у которых этот показатель в сравнении с осенью практически не изменяется и, таким образом, незначительно превышает аналогичный параметр у рыб.

ФИ к клеткам дрожжей как в осенний, так и в весенний периоды у лягушек самый высокий, у птиц – самый низкий.

Сезонные изменения процента фагоцитирующих эритроцитов и среднего числа поглощенных ими частиц к клеткам дрожжей у рыб, а также фагоцитарного индекса у земноводных происходят аналогично частицам латекса. Фагоцитарная активность эритроцитов у земноводных к дрожжевым клеткам, а также изучаемые показатели фагоцитоза у птиц относительно стабильны в течение года.

Сенную палочку осенью хорошо фагоцитируют эритроциты лягушки и курицы. Весной у птиц фагоцитарная активность к этому объекту превышает аналогичный по-



казатель рыб и лягушек. Осенью ФИ у рыб выше, чем у лягушек и птиц в 2 и 3 раза соответственно, весной эта разница нивелируется.

У птиц весной ФА красных клеток крови к сенной палочке увеличивается на 25% ( $p < 0.05$ ), у лягушек снижается ФИ на 68% ( $p < 0.05$ ), у рыб отмечаются незначительные сезонные колебания, проявляющиеся как тенденции к увеличению процента фагоцитирующих клеток и снижению среднего числа поглощенных частиц.

У эритроцитов рыб к частицам латекса и клеткам дрожжей ФА осенью примерно одинакова, весной дрожжи красными клетками крови фагоцитируются быстрее. Фагоцитарная активность эритроцитов сазана к сенной палочке как весной, так и осенью в несколько раз ниже, чем к частицам латекса и клеткам дрожжей.

У земноводных процент фагоцитирующих эритроцитов при использовании полистерольного латекса и клеток дрожжей примерно одинаков, весной лягушка дрожжи поглощают более чем в 2 раза быстрее, чем латекс. Сенная палочка фагоцитируется эритроцитами лягушки значительно медленнее, чем латекс и дрожжи как весной, так и осенью.

Эритроциты курицы активнее всего как весной, так и осенью поглощают дрожжевые клетки.

Белые клетки крови рыб, земноводных и птиц частицы латекса фагоцитируют аналогично красным (таблица 2). Процент фагоцитирующих полиморфноядерных лейкоцитов весной снижается у рыб на 45% ( $p < 0.05$ ), у земноводных – на 70% ( $p < 0.05$ ) в сравнении с осенью, у птиц изучаемый показатель в течение года не изменяется. Среднее число поглощенных лейкоцитами частиц латекса понижается у всех изучаемых классов животных весной в сравнении с осенью: у рыб – на 75% ( $p < 0.05$ ), у земноводных – на 94% ( $p < 0.05$ ), у птиц – на 65% ( $p < 0.05$ ).

Таблица 2

## Показатели поглотительной способности полиморфноядерных лейкоцитов

Объект фагоцитоза	Показатели поглотительной способности, ед. изм.	Период исследования	Вид животного		
			<i>C. carpio</i>	<i>R. ridibunda</i>	<i>G. domesticus</i>
Частицы латекса	ФА, %	Осенний	61.60±2.60	44.30±4.90 <sup>β</sup>	23.00±3.05 <sup>β #</sup>
		Весенний	34.00±1.00*	13.50±1.50 <sup>*β</sup>	22.00±1.00 <sup>β#</sup>
	ФИ, отн. ед.	Осенний	1.50±0.05	2.50±0.60	0.66±0.02 <sup>β #</sup>
		Весенний	0.37±0.01*	0.14±0.02 <sup>*β</sup>	0.23±0.01 <sup>*β#</sup>
Дрожжи	ФА, %	Осенний	73.60±3.50 <sup>&amp;</sup>	41.80±4.20 <sup>β</sup>	23.30±3.05 <sup>β #</sup>
		Весенний	37.00±1.00*	24.50±1.50 <sup>*β&amp;</sup>	28.00±3.00 <sup>β</sup>
	ФИ, отн. ед.	Осенний	1.30±0.10	1.90±0.07	0.66±0.02 <sup>β #</sup>
		Весенний	0.37±0.01*	0.26±0.02 <sup>*β&amp;</sup>	0.29±0.02 <sup>*β&amp;</sup>
Сенная палочка	ФА, %	Осенний	14.25±6.75 <sup>@</sup>	4.50±0.50 <sup>β&amp;@</sup>	18.50±0.13 <sup>β#</sup>
		Весенний	12.20±2.00 <sup>*&amp;@</sup>	11.80±0.50 <sup>*@</sup>	19.20±0.50 <sup>*β#&amp;@</sup>
	ФИ, отн. ед.	Осенний	0.99±0.06 <sup>&amp;@</sup>	0.12±0.02 <sup>&amp;@</sup>	0.35±0.19 <sup>β</sup>
		Весенний	0.14±0.03 <sup>*&amp;@</sup>	0.45±0.07 <sup>*β&amp;@</sup>	0.20±0.08 <sup>#</sup>

У опытных животных поглотительная способность лейкоцитов к клеткам дрожжей аналогична частицам латекса, за исключением ФА и ФИ у лягушек весной. Активность этих клеток в отличие от эритроцитов в весенний период у земноводных ниже, чем у рыб.

ФА лейкоцитов к клеткам дрожжей в весенний период ниже у сазана на 99% ( $p < 0.05$ ), у лягушки – на 41% ( $p < 0.05$ ), чем в осенний, у курицы не регистрируется сезонных колебаний по этому показателю. Весной в сравнении с осенью у всех изучаемых классов животных установлено также существенное снижение среднего числа поглощенных лейкоцитами частиц при использовании в качестве объекта фагоцитоза

клеток дрожжей: у рыб на 72% ( $p < 0.05$ ), у земноводных – на 86% ( $p < 0.05$ ), у птиц – на 56% ( $p < 0.05$ ).

К сенной палочке ФА лейкоцитов у птиц самая высокая, у земноводных самая низкая как весной, так и осенью, ФИ изменяется незакономерно.

Показатели ФА и ФИ лейкоцитов при использовании сенной палочки в весенний период у рыб понижаются аналогично эритроцитам на 14% ( $p < 0.05$ ) и 89 % ( $p < 0.05$ ), у лягушек, напротив, повышаются примерно в 3-4 раза в сравнении с осенью. У птиц весной в сравнении с осенью ФА белых клеток крови, также как и красных, увеличивается на 42% ( $p < 0.05$ ).

У лейкоцитов рыб фагоцитарная активность к изучаемым объектам фагоцитоза идентична эритроцитам, за исключением весеннего повышения поглотительной способности к клеткам дрожжей.

Лейкоциты земноводных одинаково эффективно фагоцитируют частицы латекса и клетки дрожжей, особенно осенью, а объект фагоцитоза – сенная палочка – белыми клетками крови лягушек поглощается менее активно.

ФА лейкоцитов кур весной и осенью к изучаемым объектам фагоцитоза практически одинакова, при этом – несколько ниже к сенной палочке.

Таким образом, в результате проведенных исследований установлено, что фагоцитарная активность красных клеток крови аналогична белым. Согласно исследованиям некоторых авторов [13], для эритроцитов рыб, лягушек и птиц характерна складчатость плазматической мембраны, что позволяет этим клеткам осуществлять фагоцитоз.

Несмотря на то, что у рыб и земноводных в весенний период идет активизация гемопоэза, фагоцитарная активность гемоцитов практически ко всем объектам фагоцитоза, за исключением дрожжей, у этих животных ниже, чем в осенний. Можно предположить, что это происходит вследствие усиления гемопоэза у сазана и лягушки весной, которое ведет к повышенному содержанию незрелых клеток крови [14-17].

Более высокая фагоцитарная активность к дрожжевым клеткам в сравнении с латексом у лягушки и сазана, возможно, связана с наличием у этих животных видового иммунитета, так как одним из мест обитания дрожжевых клеток являются природные воды [18], являющиеся средой обитания рыб и в несколько меньшей степени – земноводных. У птиц фагоцитарная активность к частицам латекса и клеткам дрожжей ниже, чем у рыб и лягушек, но стабильна в течение года. Общеизвестно, что дрожжевые клетки также распространены на поверхности плодов и листьев, что может быть причиной приобретенного иммунитета у птиц, так как рацион этих животных содержит растительные компоненты.

Значительное снижение фагоцитарной активности к сенной палочке у рыб и земноводных может быть следствием нескольких причин. Во-первых, для сенной палочки, несмотря на ее широкую распространенность в природе (в почве, на растительном сырье, в воздушной пыли, на поверхности пищевых продуктов и т. п.) [11], водоемы не являются средой обитания. Во-вторых, данный микроорганизм синтезирует антибиотик субтилин [19], который, возможно, у рыб и земноводных ингибирует процессы фагоцитоза.

У птиц сенная палочка поглощается с одинаковой дрожжам и латексу активностью. Это может быть следствием того, что антитела, вырабатываемые гомойотермными позвоночными, характеризуются более высокой аффинностью и достаточной иммунологической памятью по сравнению с антителами у пойкилотермных позвоночных. То есть, только у птиц (также как и у млекопитающих) существует механизм повышения аффинитета антител в ходе адаптивного иммунного ответа – последнее из наиболее серьезных приобретений иммунной системы на пути ее совершенствования в процессе филогенеза [20].



### Заключение

Фагоцитарная активность ядерных эритроцитов рыб, земноводных и птиц аналогична полиморфноядерным лейкоцитам у этих видов животных ко всем изучаемым объектам фагоцитоза.

У сазана и лягушки весной ФА практически ко всем использованным объектам фагоцитарной реакции ниже, чем осенью, у курицы сезонные различия незначительны.

Более высокая фагоцитарная активность весной к клеткам дрожжей в сравнении с латексом у земноводных и, особенно, у рыб, возможно, связана с наличием у животных этих видов врожденного иммунитета к этим микроорганизмам. К сенной палочке в сравнении с клетками дрожжей и частицами латекса у рыб и земноводных регистрируется снижение фагоцитарной активности, у птиц этот объект поглощается с одинаковой дрожжам и латексу активностью.

Весной в сравнении с осенью отмечено снижение ФИ у животных всех изучаемых классов вне зависимости от объекта фагоцитарной реакции.

### Список литературы

1. Агаджанян Н.А. Биологические ритмы. – М.: Медицина, 1967. – 120 с.
2. Агаджанян Н.А. Экологическая физиология: проблема адаптации и стратегия выживания // Материалы X Междунар. симпозиума «Эколого-физиологические проблемы адаптации». – М.: Изд-во РУДН, 2001. – С. 5-12.
3. Малафеева Э.В. К регуляции сезонных изменений уровня некоторых гуморальных неспецифических факторов иммунитета // Климато-медицинские проблемы и вопросы медицинской географии Сибири. – Томск, 1974. – Т.1. – С. 128-130.
4. Житенева Л.Д., Макаров Э.В., Рудницкая О.А. Эволюция крови. – Ростов-на-Дону: АЗНИИРХ, 2001. – 113 с.
5. Кузьмин П.Н. Сезонные биоритмы иммунобиологической реактивности организма в условиях Западной Сибири // Климато-медицинские проблемы и вопросы медицинской географии Сибири. – Томск, 1974. – Т.1. – С. 120-122.
6. Федорова М.З. Реактивность лейкоцитов крови при различных функциональных нарушениях. – Москва-Ярославль, 2001. – 68 с.
7. Метод вычисления абсолютных показателей фагоцитоза / М.Т. Александров, А.И. Кудрявицкий, Е.Г. Румянцева, Л.А. Климова, М.В. Ларская // Лабораторное дело. – 1988. – №9. – С. 30-32.
8. Потапова С.Г., Хрустикова В.С., Демидова Н.В., Козинец Г.И. Изучение поглотительной способности нейтрофилов крови с использованием инертных частиц латекса // Проблемы гематологии и переливания крови. – 1977. – Т. XXII, №9. – С. 58-59.
9. Учитель И.Я. Макрофаги в иммунитете. – М.: Медицина, 1978. – 200 с.
10. Eeden S.F., Klut M.E., Walker B.A.M., Hogg J.C. The use of flow cytometry to measure neutrophil function // J. of Immun. Meth., 1999. – Vol. 232. – P. 23-43.
11. Глик Б., Пастернак Д. Молекулярная биотехнология. – М.: Мир, 2002. – С. 27.
12. Воробьев А.А., Кривошеник Ю.С., Быков А.С. и др. Основы микробиологии, вирусологии и иммунологии. – М.: Мастерство, 2001. – 221 с.
13. Головкин С.И., Фёдорова М.З., Чернявских С.Д. Мембранный резерв клеток крови позвоночных животных // Тез. докл. VI Сибирского Физиол. съезда. – Барнаул, 2008. – С. 25.
14. Гаврилов О.К., Козинец Г.И., Черняк И.Б. Клетки костного мозга и периферической крови. – М.: Медицина, 1987. – 274 с.
15. Заварзин А.А. Очерки эволюционной гистологии крови и соединительной ткани. – М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1953. – 716 с.
16. Хамидов Д.Х., Акилов А.Т., Труднева А.А. Кровь и кроветворение у позвоночных животных. – Ташкент: Фан, 1978. – 160 с.
17. Медведев Ж.А. О некоторых особенностях эритропоэза и старения эритроцитов лягушки // Цитология. – 1973. – Т. XV, № 8. – С. 963-975.

18. Жизнь растений. Энциклопедия в шести томах. Том 2. Грибы. — Просвещение, 1976. — 480 с.
19. Янгирова З.З. Разработка и изучение иммунологических свойств нового лекарственного средства – бактиспоринпласта. Дисс. ... канд. биол. наук. – Уфа, 2005. – 132 с.
20. Фримель Х., Брок Й. Основы иммунологии. – М.: Мир, 1986. – 254 с.

## **SEASONAL FLUCTUATIONS OF PHAGOCYTOSIS PARAMETERS OF ERYTHROCYTES AND POLYMORPHONUCLEAR LEUKOCYTES OF VERTEBRATES**

**S.D. Chernyavskikh**  
**M.Z. Fedorova**  
**E.V. Maslennikova**

*Belgorod State National Research  
University  
Pobedy St. 85, Belgorod,  
308015, Russia  
E-mail: Chernyavskikh@bsu.edu.ru*

Seasonal changes of blood cells phagocytosis parameters of some Vertebrates have been studied. It has been established that phagocytic activity of nuclear erythrocytes is almost similar to fish, amphibia and birds polymorphonuclear leukocytes activity in aspect of all studied object of phagocytosis. It has been approved that there is the most intensive phagocytic activity of fish and amphibia for yeast in spring, the lowest one is for grass bacillus, this object is also absorbed by the birds phagocytes with the same activity for both yeast and grass bacillus. The reduction of the average amount of absorbed particles of all phagocytic objects has been noted for all Vertebrates in spring in comparison with the autumn.

Key words: the Vertebrates, erythrocytes, leukocytes, phagocytic activity, phagocytic ratio.



## ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕМБРАННОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ ДЛЯ ВОДЫ У ДВУХКЛЕТОЧНОГО ЭМБРИОНА МЫШИ<sup>1</sup>

**В.Н. Погорелова<sup>1</sup>**

**Е.В. Корниенко<sup>1,2</sup>**

**М.А. Погорелова<sup>1</sup>**

**А.И. Панаит<sup>1</sup>**

**И.В. Маликов<sup>1</sup>**

**А.Г. Погорелов<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup> *Институт теоретической и экспериментальной биофизики РАН  
Россия, 142290, Московская обл.,  
г. Пущино, ул. Институтская 3  
Email: agrogorelov@rambler.ru*

<sup>2</sup> *Пущинский государственный  
университет, УЦ биофизики и  
биомедицины  
Россия, 142290, Московская обл.,  
г. Пущино*

В работе изучали ответ двухклеточного эмбриона мыши на гиперосмотический стресс. Используя лазерную микротомографию (LSM) двухклеточного эмбрионы мыши с последующей его количественной трехмерной реконструкцией (3 DR), измеряли объем отдельной эмбриональной клетки. На основе полученных данных значение мембранной проницаемости для воды в гиперосмотических условиях оценили величиной  $0.1 \text{ мкм} \times \text{мин}^{-1} \times \text{атм}^{-1}$ , что ниже значения ( $0.3 \text{ мкм} \times \text{мин}^{-1} \times \text{атм}^{-1}$ ), полученного при гипоосмотическом стрессе. Выдвинуто предположение, что относительно низкий транспорт воды из клетки при сжатии blastomera обусловлен частичной компенсацией осмотических сил за счет адгезии клеточной мембраны и зоны пеллюцида, окружающей ранний эмбрион.

Ключевые слова: мембранная проницаемость для воды, двухклеточный эмбрион мыши, гиперосмотический стресс, количественная лазерная микротомография.

### Введение

Постоянство объема blastomera рассматривается как ключевой фактор нормального течения раннего эмбриогенеза [1, 2]. Даже кратковременное осмотическое воздействие вызывает в эмбриональной клетке увеличение активности р38 MAPK на фоне роста уровня ССМ2 [3]. При культивировании зародышей многих видов млекопитающих наблюдается блок развития, например для мыши, на стадии двух blastomeres [4, 5]. Предполагается, что отмеченный эффект индуцирован осмотическим стрессом, возникающим в момент выделения эмбриона из яйцевода [6].

Изменению клеточного объема всегда сопутствует осмотический шок, который непосредственно связан с механической деформацией мембраны и цитоскелета. Адаптивный ответ клетки представляет собой интегральную реакцию ряда мембранных систем, транспортирующих осмотически активные электролиты и органические осмолиты [7]. В цитируемой работе обсуждаются компенсаторные механизмы, направленные на восстановление цитоплазматического объема. Однако, в любом случае, изменение пространственного размера клетки обусловлено перераспределением воды через ее мембрану [8].

Количественным показателем, характеризующим мембранный транспорт воды, является эффективная проницаемость растворителя, но определить данный параметр для раннего эмбриона не удастся. Основная причина состоит в отсутствии методов измерения объема blastomera млекопитающих. Указанная проблема решается посредством количественной микротомографии [9]. Используя лазерную сканирующую микроскопию двухклеточного зародыша мыши с последующей его трехмерной реконструкцией, в данном исследовании определяли мембранную проницаемость для воды в гиперосмотических условиях.

<sup>1</sup> Работа выполнена при частичной поддержке Госконтракта 14.740.11.0956 от 29.04.2011 г.

### Объекты и методы исследования

Исследования проводили на мышах SHK из питомника ИТЭБ РАН (г. Пущино). Во время эксперимента животных содержали в стандартных условиях: температура в комнате  $20 \pm 2^\circ$ , гранулированный корм ПК-121-2, питье *at libitum*. Воду, корм и подстилку меняли ежедневно без предварительной стерилизации. Двухклеточные эмбрионы получали в соответствии с методикой, описанной ранее [10, 11]. Вымытые зародыши инкубировали в среде Дульбекко. В качестве контрольного образца использовали эмбрионы, взятые непосредственно после выделения из яйцевода. Осмотический шок моделировали изменением концентрации соли *NaCl* в среде Дульбекко, которая исходно содержит следующие компоненты: *NaCl* (130 мМ), *KCl* (2.7 мМ), *MgCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O* (0.5 мМ), *KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>* (1.5 мМ), *CaCl<sub>2</sub>* (0.9 мМ), *Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>·12H<sub>2</sub>O* (7.0 мМ), *NaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O* (1.3 мМ), *pH=7.4*.

Принципы методики подготовки препарата, основанной на сверхбыстрой криофиксации биологической ткани, описаны нами ранее [12-16]. Начальным этапом является криофиксация объекта в жидком пропане (85°K). Замороженные образцы лиофилизировали в вакууме ( $\sim 10^{-3}$  Pa) при низкой температуре (173°K), используя установку МВА 5 (Balzers, Лихтенштейн). По завершении низкотемпературной дегидратации высушенный объект заключали в заливочную среду, приготовленную на основе эпоксидной смолы Epon 812 [17].

Измерение объема отдельного бластомера проводили посредством количественной микрофотографии [9, 18]. После термополимеризации (330°K) заливочной смолы поверхность полученного блока затачивали стеклянным ножом. Подготовленный препарат изучали в конфокальном лазерном микроскопе (Leica, Австрия). В режиме прошедшего света получали вертикальную стопку оптических срезов с шагом 1 мкм.

Учитывая низкий контраст полученного цифрового изображения, каждый срез дополнительно обрабатывали по унифицированному алгоритму, для чего можно использовать среду Adobe Photoshop 6.0 или GIMP 2.2.17 [<http://gimp-win.sourceforge.net/>]. На микрофотографии эмбриона в плоскости каждого оптического среза обрисовывали контуры бластомеров и затем по серии последовательных контуров восстанавливали трехмерный вид эмбриональной клетки. Трехмерную реконструкцию проводили посредством стандартного графического редактора, например 3ds max [<http://www.discreet.com/>].

### Результаты и их обсуждение

На базе LSM нами была разработана технология создания компьютерной модели пространственного образа отдельного бластомера [18, 19]. Подход 3 DR, применительно к эмбриональной клетке, позволяет не только визуализировать объект сложной формы, но и определить его объемные характеристики (рис. 1).

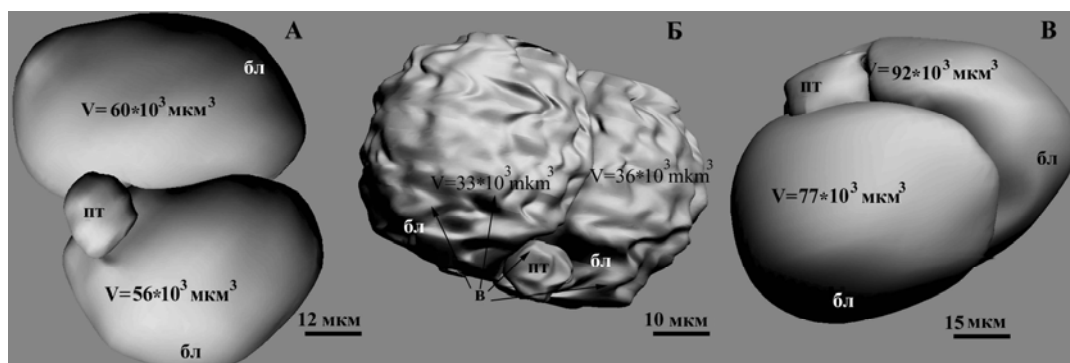


Рис. 1. Изображение двухклеточного эмбриона мыши, полученное посредством метода количественной LSM (фотография взята из [9]): (А) – сразу после выделения из яйцевода; (Б) – после 10 минут инкубации в гиперосмотической среде Дульбекко; (В) – после 10 минут инкубации в гипотонической среде Дульбекко. Обозначения: бл – бластомер, в – выросты, пт – полярное тельце, V – объем бластомера

В данной работе изолированный эмбрион инкубировали при осмотических условиях от 290 мОсм до 470 мОсм при 130 мМ и 220 мМ концентрации соли  $NaCl$  в среде Дульбекко, соответственно. Полагают, что размеры зародыша в первые минуты после его вымывания в среду с осмотичностью, близкой к физиологической величине, незначительно отличаются от интактного состояния [20]. Поэтому за начальную (контрольную) точку брали объемные характеристики эмбриональной клетки сразу после вымывания зародыша из яйцевода в обычный раствор Дульбекко (290 мОсм). В этом случае между получением эмбриона и его криофиксацией проходило не более 2 минут.

В течение осмотического стресса активизируются адаптивные механизмы, направленные на восстановление объема клетки. Другими словами, включаются системы компенсации осмотической силы, что может трансформировать как скорость, так и направление обмена воды между клеткой и внеклеточной средой. Поэтому транспорт воды обусловлен исключительно осмотическими условиями, задаваемыми в эксперименте, только в самом начале осмотического воздействия. В этой фазе минимальны сигнальные составляющие осмотического стресса (деформация мембраны, напряжение цитоскелета, изменение концентрации цитоплазматических веществ).

Для расчета эффективной проницаемости –  $Lp$  ( $\text{мкм} \times \text{мин}^{-1} \times \text{атм}^{-1}$ ) мембраны бластомера для воды использовали известное выражение (1).

$$Lp = 0.0254(\Delta V/\Delta C)/(S t) \quad (1)$$

где  $\Delta V/\Delta C$  – приращение клеточного объема ( $\text{мкм}^3$ ) на единицу увеличения концентрации (мМ) соли  $NaCl$  в среде Дульбекко,  $S$  – площадь ( $\text{мкм}^2$ ) поверхности клетки,  $t$  – время (минуты) гиперосмотического воздействия.

В технологии LSM получить более короткий промежуток экспозиции затруднительно, что обусловлено ограничениями во времени, которые накладывают манипуляции с эмбрионом. Площадь поверхности клетки ( $S$ ) соответствует  $10^4 \text{ мкм}^2$  [9]. Отношение  $\Delta V$  к  $\Delta C$  определяли из экспериментальной зависимости, построенной для 5 минут осмотического стресса (рис. 2).

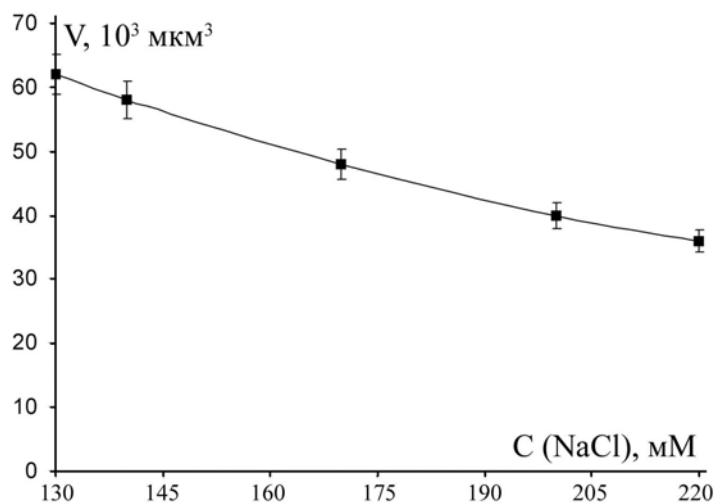


Рис. 2. Уменьшение на 5 минутах гиперосмотического стресса объема ( $10^3 \text{ мкм}^3$ ) бластомера двухклеточного эмбриона мыши в зависимости от увеличения концентрации (мМ) соли  $NaCl$  в среде Дульбекко. Сокращения:  $V$  – объем бластомера,  $C$  ( $NaCl$ ) – концентрация соли в гипертонических условиях

Отметим, что уменьшение клеточного объема носит практически линейный характер в зависимости от увеличения концентрации соли  $NaCl$  в среде инкубации, т.е. от осмотичности среды. На основе полученных данных, была определена эффективная проницаемость мембраны бластомера для воды в гипертонических условиях, которая составляет  $0.1$  ( $\text{мкм} \times \text{мин}^{-1} \times \text{атм}^{-1}$ ). Порядок величины свидетельствует о том, что транспорт воды идет посредством специфических аквапориновых каналов. Отметим, что значение эффективной проницаемости для воды при гипертоническом стрессе в



несколько раз меньше того, что было оценено применительно к гипотоническим условиям [21, 22].

То, что вода из клетки раннего эмбриона выходит медленнее, чем она транспортируется внутрь blastomeres можно объяснить пространственной асимметрией аквапоринового канала. В этом случае скорость переноса воды будет зависеть от направленности вектора транспорта. Однако, при гипертонии более реальным представляется механизм частичной компенсации осмотических сил гидростатическими, возникающими за счет адгезии клеточной мембраны и оболочки эмбриона (рис. 3).

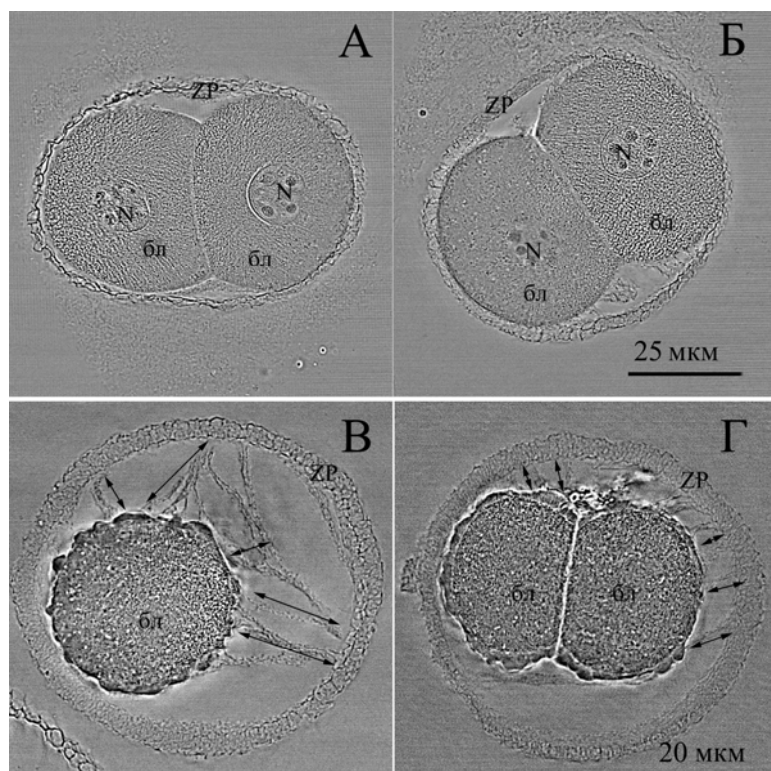


Рис. 3. Микрофотография оптического среза двухклеточных эмбрионов в области экваториального сечения: (А-Б) - сразу после выделения из яйцевода в обычный раствор Дульбекко, содержащий 140 мМ соли  $NaCl$ ; (В-Г) – после 15 минут экспозиции в гипертоническом растворе Дульбекко, содержащем 220 мМ соли  $NaCl$ . Обозначения: бл – blastomeres, N – ядро blastomeres, стрелками указаны тяжи, соединяющие blastomeres и оболочку эмбриона (zp)

В этом случае скорость сжатия эмбриональной клетки должно замедляться упругими свойствами зоны пеллюцида. Действительно, на микрофотографиях в нижнем ряду, которые соответствуют гипертоническим условиям, визуально наблюдаются тяжи, соединяющие blastomeres и оболочку эмбриона. Возможно, эти структуры возникают в местах слипания мембраны и зоны пеллюцида при уменьшении клеточного объема.

Было показано, что обычный раствор Дульбекко, содержащий 140 мМ соли  $NaCl$ , должен оказывать гипертоническое действие на изолированный эмбрион [17, 19, 21]. В этом случае уменьшение объема гораздо менее выражено, чем в гипертонических условиях, и пролонгировано во времени поэтому, его трудно наблюдать под бинокулярным стереомикроскопом. Однако количественная LSM наглядно подтверждается сжатие двухклеточного эмбриона при осмолярности среды в 310 мОсм – нормальной для культур дифференцированных клеток (рис. 4).

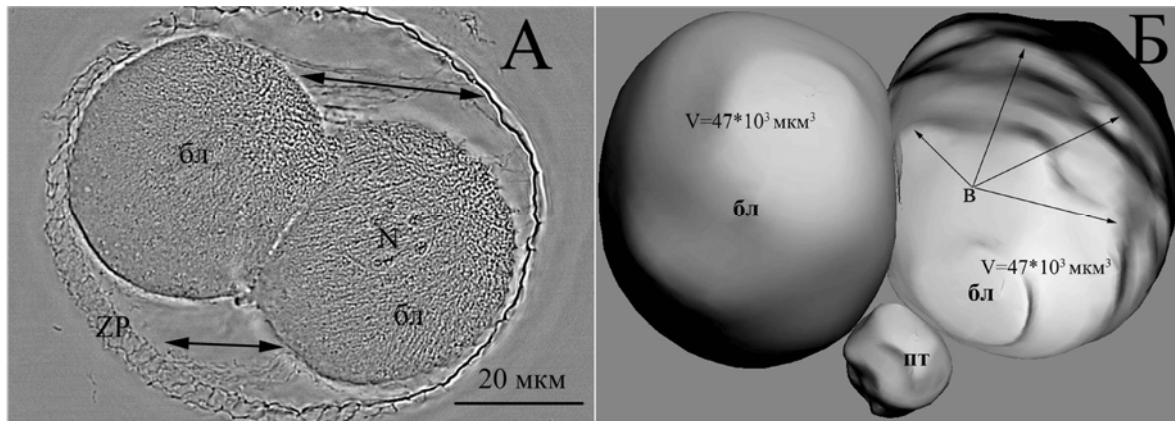


Рис. 4. Изображение двухклеточного эмбриона мыши, инкубированного 30 минут в обычном растворе Дульбекко, содержащем 140 мМ соли  $NaCl$ : (А) – микрофотография оптического среза зародыша в области экваториального сечения и (Б) – компьютерная модель, полученная в результате 3 DR зародыша. Обозначения: бл – бластомер,  $N$  – ядро бластомера, стрелками указаны тяжи, соединяющие бластомер и оболочку эмбриона ( $zр$ ),  $в$  – выросты,  $пт$  – полярное тельце,  $V$  – объем бластомера

На микрофотографии (рис. 4А) между оболочкой эмбриона и бластомером видны характерные тяжи, которые образуются в условиях гиперосмотического стресса. Пространственное изображение эмбриона также показывает наличие на поверхности одной из клеток выпячивания, характерные для гипертонических условий. Отметим, что сестринские клетки по-разному реагируют на осмотический шок.

В завершение обсуждения результатов можно сделать следующие выводы. Бластомер двухклеточного эмбриона мыши на начальном этапе гипертонического стресса ведет себя в соответствии с законом Вант Гоффа. Значение эффективной проницаемости для воды через мембрану бластомера составляет  $\sim 0.1$  мкм/(мин $\times$ атм), что свидетельствует о наличии компенсаторных сил, возможно, обусловленных адгезией между бластомером и оболочкой эмбриона. На начальной стадии экспозиции обычная среда Дульбекко, осмотичностью 310 мОм, вызывает сжатие ( $\sim 16\%$ ) эмбриональной клетки, объем которой восстанавливается при дальнейшей инкубации.

### Список литературы

1. Van Winkle L.I., Patel M., Wasserlauf H.G., Dickinson H.R., Campione A.L. Osmotic regulation of taurine transport via system  $\beta$  and novel processes in mouse preimplantation conceptuses // BBA. – 1994. – Vol. 1191. – P. 244-255.
2. Biggers J.D., Lawitts J.A., Lechene C.P. The protective action of betaine on the deleterious effects of  $NaCl$  on preimplantation mouse embryos in vitro // Mol. Reprod. Dev. – 1993. – Vol. 34. – P. 380-390.
3. Fong B., Watson P.H., Watson A.J. Mouse preimplantation embryo responses to culture medium osmolarity include increased expression of CCM2 and p38 MAPK activation // BMC Dev. Biol. – 2007. – Vol. 7. – P. 1-16.
4. Goddard M.J., Pratt H.P.M. Control of events during cleavage of the mouse embryo: an analysis of '2-cell block' // Development. – 1983. – Vol. 73. – P. 111-133.
5. Kishi J., Noda Y., Narimoto K., Umaoka Y., Mori T. Block to development in cultured rat 1-cell embryos is overcome using medium HECM-1 // Hum. Reprod. – 1991. – Vol. 6. – P. 1445-1448.
6. Baltz J.M., Tartia A.P. Cell volume regulation in oocytes and early embryos: connecting physiology to successful culture media // Human Reprod. – 2010. – Vol. 16. – P. 166-176.
7. Hoffmann E.K., Lambert I.H., Pederson S.F. Physiology of cell volume regulation in vertebrates // Physiol. Rev. – 2009. – Vol. 89. – P. 193-277.
8. Agre P., Brown D., Nielsen S. Aquaporin water channels: unanswered questions and unresolved controversies // Curr. Opin. Cell. Biol. – 1995. – Vol. 7. – P. 472-483.
9. Pogorelov A.G., Pogorelova V.N. Quantitative tomography of early mouse embryos: Laser Scanning Microscopy and 3-D reconstruction // J. Microsc. – 2008. – Vol. 232. – P. 36-43.

10. Березовская О.П., Межевикина Л.М., Вепринцев Б.Н. Метод культивирования доимплантационных зародышей мыши // Онтогенез. – 1986. – Т. 17, вып. 5. – С. 553-555.
11. Манк М. Биология развития млекопитающих. – М.: Мир, 1990. – 406 с.
12. Pogorelov A.G., Allachverdov B.L., Burovina I.V., Mazay G.G., Pogorelova V.N. Study of potassium deficiency in cardiac muscle: quantitative X-ray microanalysis and cryotechniques // J. Microsc. – 1991. – Vol. 162. – P. 255-269.
13. Pogorelov A.G., Pogorelova V.N., Repin N.V., Mizin I.A. Quantitative electron probe microanalysis with a wavelength dispersive spectrometer // Scanning Microsc. – 1994. – Suppl. 8. – P.101-108.
14. Pogorelov A.G., Katkov I.I., Smolyaninova E.I., Goldshtein D.V. Changes in Intracellular Potassium and Sodium Content of 2-Cell Mouse Embryos Induced by Exposition to Vitrification Concentrations of Ethylene Glycol // CryoLetters. – 2006. – Vol. 27. – P. 87-98.
15. Pogorelov A.G., Katkov I.I., Pogorelova V.N. Influence of Exposition to Vitrification Solutions On 2-Cell Mouse Embryos: I. Intracellular Potassium and Sodium Content // CryoLetters. – 2007. – Vol. 28. – P. 403-408.
16. Погорелов А.Г., Гольдштейн Д.В. Электронно-зондовый микроанализ цитоплазматической концентрации элементов в одиночной клетке культуры и суспензии // Клеточные технологии в биологии и медицине. – 2006. – Вып.2. – С. 84-91.
17. Glauert A.M., Lewis P.R. Biological specimen preparation for transmission electron microscopy. - Princeton: Princeton University Press, 1998. – 326 p.
18. Погорелова М.А., Яшин В.А., Погорелов А.Г., Голиченков В.А. Количественная томография раннего эмбриона мыши // Доклады Академии Наук. – 2008. – Т. 418, вып. 5. – С. 712-714.
19. Погорелова М.А., Гольдштейн Д.В., Погорелов А.Г., Голиченков В.А. Анализ изменения объема клетки раннего эмбриона мыши, подверженного осмотическому шоку // Клеточные технологии в биологии и медицине. – 2009. – Вып. 3. – С. 169-172.
20. Collins J.L., Baltz J.M. Estimates of Mouse Oviductal Fluid Tonicity Based on Osmotic Responses of Embryos // Biol. Repr. – 1999. – Vol. 60. – P. 1188-1193.
21. Погорелов А.Г., Погорелова В.Н. Кинетика изменения объема клетки раннего эмбриона мыши в гипосмотических условиях // Биофизика. – 2009. – Т. 54. – С. 482-487.
22. Погорелова М.А., Голиченков В.А., Погорелова В.Н., Корниенко Е.В., Панаит А.И., Погорелов А.Г. Метод определения изотонической точки инкубационной среды для двухклеточного эмбриона мыши // Клеточные технологии в биологии и медицине. – 2011. – Вып. 3 (в печати).

## MEMBRANE HYDRAULIC PERMEABILITY FOR TWO-CELL MOUSE EMBRYO

**V.N. Pogorelova**<sup>1</sup>

**E.V. Kornienko**<sup>1,2</sup>

**M.A. Pogorelova**<sup>1</sup>

**A.I. Panait**<sup>1</sup>

**I.V. Malikov**<sup>1</sup>

**A.G. Pogorelov**<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Institute of Theoretical and Experimental Biophysics RAS, Pushchino, Moscow Reg., 142290, Russia  
E-mail: agpogorelov@rambler.ru

<sup>2</sup> State University at Pushchino, Dept. Biophysics and Biomedicine, Pushchino, Moscow Reg., 142290, Russia

This work was aimed to investigate the osmotic response of two-cell mouse embryos to hyperosmotic stress. Applying Laser Scanning Microtomography (LSM) to single embryonic cell, blastomere volume was quantified with three dimensional reconstruction (3 DR). On the basis of data obtained we estimated the water permeability through cellular membrane as  $0.1 \text{ mkm} \times \text{min}^{-1} \times \text{atm}^{-1}$  at hyperosmotic conditions. This value was less than that of  $0.3 \text{ mkm} \times \text{min}^{-1} \times \text{atm}^{-1}$  determined for hypoosmotic shock. It was hypothesized that lower water release resulting in embryo shrinkage was provided by compensation of osmotic forces with adhesion between blastomere and zona pellucida layer.

Key words: membrane hydraulic permeability, two-cell mouse embryo, hyperosmotic stress, quantitative Laser Microtomography.



УДК 57.043, 57.044, 574.522

## ЭКОТОКСИКОЛОГИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ УГЛЕРОДНОГО НАНОСТРУКТУРНОГО МАТЕРИАЛА<sup>1</sup>

**А.А. Гусев<sup>1</sup>**  
**А.В. Емельянов<sup>1</sup>**  
**С.В. Шутова<sup>1</sup>**  
**А.Г. Ткачев<sup>2</sup>**  
**А.Ю. Годымчук<sup>3</sup>**  
**Д.В. Кузнецов<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> Тамбовский государственный  
университет имени Г.Р. Державина  
Россия, 392000, г. Тамбов,  
ул. Интернациональная, 33  
E-mail: nanosecurity@mail.ru

<sup>2</sup> ООО «НаноТехЦентр»  
Россия, 392000,  
г. Тамбов, ул. Советская, 51

<sup>3</sup> Томский политехнический университет  
Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30

<sup>4</sup> Национальный исследовательский  
технологический университет "МИСиС"  
Россия, 119049, г. Москва, Ленинский пр., 4,  
подр. 217

Проведена оценка острого токсического действия промышленно производимого углеродного наноструктурного материала (многостенных углеродных нанотрубок) на перифитный, одноклеточные зеленые водоросли и бактерии. Установлено, что исследуемый наноматериал относится к III классу опасности для окружающей природной среды (умеренно опасные вещества). Организмами, наиболее устойчивыми к действию наноматериала, оказались перифиты, наименее устойчивыми – микроводоросли и бактерии. Показано, что безопасные концентрации углеродного наноматериала в водной среде лежат в диапазоне ниже 2 мг/л.

Ключевые слова: наноматериалы, многостенные углеродные нанотрубки, экотоксикология, ксенобиотики.

### Введение

Нанотехнологии, как одно из главных направлений развития современной науки и техники, в ближайшем будущем способны принести результаты, сопоставимые с теми, что были достигнуты за несколько последних десятилетий [1]. Уже сейчас в мире производятся тысячи тонн обладающих уникальными свойствами наноструктурных материалов, при этом наблюдается устойчивая тенденция к росту их производства.

В то же время нарастает угроза со стороны наноматериалов как нехарактерных для живой природы мелкодисперсных поллютантов с малоизученными токсикологическими свойствами [2].

Источниками их поступления в окружающую среду являются потребительские продукты наноиндустрии, крупнотоннажные нанотехнологические производства, а также многочисленные экспериментальные производства и научные лаборатории, в которых идут синтез и исследование свойств наноматериалов. Кроме того, такие производственные процессы, как, например, сварка, также сопровождаются значительным выделением в атмосферу техногенных наночастиц [3].

Промышленные наноматериалы могут попасть в окружающую среду разными путями на протяжении всего жизненного цикла наносодержащей продукции – получения, обработки, перевозки, использования и утилизации [4].

После попадания в гидросферу в составе сточных вод или из воздуха промышленные наночастицы в первую очередь могут поступать в организм гидробионтов – зоо- и фитопланктона, рыб, донных беспозвоночных. Находясь в основании пищевых цепей, они являются важнейшей категорией организмов, подвергаемых экотоксикологическому воздействию со стороны наноразмерных материалов [5]. Многочисленные бактерии, участвующие в поддержании стабильности экосистем, также являются

<sup>1</sup> НИР проведена в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы (Госконтракты № 14.740.11.0956 от 29.04.2011 г. и № 16.740.11.01-94 от 24.09.2010 г.)

потенциальной «группой риска» по отношению к промышленным наноматериалам, зачастую имеющим выраженный антибактериальный эффект [6].

Таким образом, для оценки экотоксикологических свойств промышленно производимых наноматериалов представляется оправданным выбор тест-объектов, относящихся к указанным группам, а именно ракообразных «фильтраторов» – цериодафний, компонента фитопланктона – одноклеточных зеленых водорослей и бактерий кишечной палочки, одного из наиболее распространенных тест-объектов в биологических исследованиях.

В последние годы, в свете необходимости управления рисками, связанными с производством и оборотом продукции наноиндустрии, появился ряд научных публикаций, посвященных оценке воздействия наноматериалов, в частности углеродных, на живые организмы. Помимо исследований токсических эффектов на клеточных культурах и млекопитающих [7, 8, 9], проводится биотестирование промышленных наноматериалов на гидробионтах и бактериях.

Например, показано проникновение и накопление многостенных углеродных нанотрубок в пищеварительном тракте ракообразного *Daphnia magna* [10]. Имеются данные об адгезии наночастиц фуллерена C<sub>60</sub> на поверхности тела ракообразных-паразитов *Acartia tonsa* [11]. При этом наблюдались нарушения поведения и физиологии испытуемых организмов: особи сталкивались со стенками посуды, плавали кругами на поверхности, изменялась частота ударов сердца, снижалось количество потомства, задерживалась линька. Высказываются предположения о связи этих явлений с адгезией наночастиц [12]. Показано, что функционализация наночастиц фуллерена C<sub>60</sub>, вводимого в среду обитания рачков *Daphnia pulex*, способствует активации у последних антиоксидантных ферментов глутатион-S-трансферазы и каталазы, что свидетельствует о развитии окислительного стресса [13]. Модификация многостенных углеродных нанотрубок полиэтиленгликолем, повышающим их диспергируемость в воде, также способствовала повышению смертности ракообразных [14].

Развитием окислительного стресса авторы исследования [15] объясняют повреждение клеток мозга рыб *Micropterus salmoides* фуллеренами. На рыбах *Pimephales promelas* показано значительное уменьшение содержания пероксисомного белка липидного транспорта PMP70 после введения в среду обитания фуллерена C<sub>60</sub>, что может указывать на нарушение липидного обмена [12]. В работе [16] показана задержка развития эмбрионов рыб *Danio rerio* при введении в среду неочищенных одностенных и двустенных углеродных нанотрубок. Токсический эффект авторы связывают с действием остатков кобальто-никелевого катализатора на нанотрубках.

Известны исследования токсичности наночастиц на водорослях. Так, в работе [17] на пресноводной зеленой водоросли *Pseudokirchneriella subcapitata* показан токсический эффект наночастиц TiO<sub>2</sub>, зависящий от размера частиц и повышающийся в присутствии ионов кадмия, что может указывать на синергетический эффект двух токсикантов.

Значительное количество работ посвящено антибактериальному действию наноматериалов, в частности, углеродных нанотрубок, поскольку это может найти практическое применение в создании бактерицидных поверхностей, фильтров и т.п. [18, 19, 20]. В исследовании [21] на культуре *Escherichia coli* показана зависимость антибактериального эффекта углеродных нанотрубок от диаметра, при этом одностенные нанотрубки оказались токсичнее многостенных. Похожие результаты получены в работе [22]: оценка цитотоксичности четырех углеродных наноматериалов: одностенных и многостенных углеродных нанотрубок, фуллерена C<sub>60</sub> в водной фазе и коллоидного графита продемонстрировала, что для монокультур *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Bacillus subtilis* и *Staphylococcus epidermis*, а также для разнообразных микробных сообществ речных и сточных вод наиболее токсичными являются одностенные углеродные нанотрубки.

Отмечается зависимость антибактериального эффекта одностенных углеродных нанотрубок от длины [23], физико-химической модификации, включая окисление, функционализацию и прокаливание, а также степени диспергированности в рас-



творе [24]. Интересные результаты продемонстрированы в работе [25]: авторами установлено, что электронная структура одностенной углеродной нанотрубки (т.е. тип проводимости – металлический или полупроводниковый) является фактором, определяющим антибактериальную активность. Наблюдалось снижение жизнеспособности бактерий *Escherichia coli* с увеличением фракции «металлических» одностенных углеродных нанотрубок.

Среди предполагаемых механизмов цитотоксичности углеродных нанотрубок – мембранный стресс, то есть, прямой контакт нанотрубки с бактерией, приводящий к повреждению мембраны и выходу наружу внутриклеточного содержимого, а также развитие окислительного стресса [25].

Таким образом, токсическое действие наноматериалов на гидробионты и бактерии в значительной степени зависит не от химической природы материала, а от разнообразных структурных особенностей. В связи с этим, определение степени опасности наноматериалов по аналогии с уже изученными образцами может дать искаженные результаты и привести к негативным последствиям для окружающей среды и здоровья человека в ходе производства, транспортировки, хранения, эксплуатации и утилизации продукции nanoиндустрии. Поэтому необходимой представляется экотоксикологическая оценка каждого из промышленно-производимых наноматериалов.

### Объекты и методы исследования

Объект исследования – углеродный наноматериал «Таунит» (УНМ «Таунит», многостенные углеродные нанотрубки), производимый в промышленных масштабах ООО «НаноТехЦентр» (г. Тамбов). Данный материал представляет собой одномерные, наномасштабные, нитевидные образования поликристаллического графита, цилиндрической формы с внутренним каналом, в виде сыпучего порошка черного цвета. Гидрофобен, химически инертен, чистота – более 98%. Гранулы УНМ микрометрических размеров имеют структуру спутанных пучков многостенных трубок, способ получения – газофазное химическое осаждение на металлическом катализаторе (ГФХО) или CVD-процесс. «Таунит» является перспективным материалом для авиационной, атомной, космической промышленности, медицины, фармацевтики, для производства суперкомпьютеров, видеотехники, плоских экранов, мониторов, фильтров широкого назначения. Добавка УНМ «Таунит» улучшает качество смазок, конструкционных композиций, строительных материалов. Гранулы «Таунита» могут служить носителями катализаторов или лекарственных препаратов, также в качестве адсорбентов, источников холодной эмиссии электронов [26]. В таблица 1 представлена характеристика исследуемого углеродного наноматериала.

Таблица 1

#### Характеристика углеродного наноматериала «Таунит»

Характеристика	Значение
Наружный диаметр, нм	10-60
Внутренний диаметр, нм	10-20
Длина, $\mu\text{m}$ (микрометров)	2 и более
Общий объем примесей (%), в т.ч. аморфный углерод	до 1.5 0.3-0.5
Насыпная плотность, г/см <sup>3</sup>	0.4-0.5
Удельная геометрическая поверхность, м <sup>2</sup> /г	120 и более
Термостабильность (°C)	до 700
Средний объем пор, см <sup>3</sup> /г	0.22
Средний размер пор, А	70

В качестве методик исследования были выбраны распространенные в экотоксикологии методы определения токсичности по изменению показателей смертности и плодовитости цериодафний, одноклеточных зеленых водорослей и геномодифицированных бактерий кишечной палочки [27, 28, 29]. Кроме того, методика биотестирования по гибели ракообразных *Ceriodaphnia affinis* [30] рекомендована для оценки безопасности наноматериалов.

Культивационные среды для биотестирования готовили согласно соответствующим методикам, при этом получение устойчивых коллоидных растворов углеродного наноматериала нужных концентраций достигалось при помощи ультразвуковой ванны.

Измерение интенсивности биолюминесценции осуществляли с помощью прибора «Биотокс-10».

Для поддержания постоянных условий культивации цериодафний и микроводорослей использовали климатическую камеру.

За окончательный результат принимался класс опасности, выявленный на тест-объекте, проявившем более высокую чувствительность к анализируемому токсиканту. Класс опасности устанавливался по кратности разведения водной вытяжки, при которой не выявлено воздействие на тест-объекты в соответствии с установленными диапазонами кратности разведения (таблица 2).

Таблица 2  
**Критерии отнесения токсикантов к классам опасности**

Класс опасности	Кратность разведения водного раствора тестируемого материала, при котором вредное воздействие на тест-объекты отсутствует
I	>10000
II	от 10000 до 1001
III	от 1000 до 101
IV	<100
V	1

Примечание: приводится по [31].

Метод биотестирования по гибели цериодафний (*Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg, 1900) основан на установлении различия между количеством погибших цериодафний в анализируемой пробе, содержащей наноматериалы, (опыт) и культивационной воде (контроль). Критерием острой летальной токсичности являлась гибель 50% цериодафний и более в опыте по сравнению с контролем за 48 часов биотестирования, при условии, что в контроле гибель не превышала 10%. Для биотестирования использовали емкости объемом 30 мл, заполненные наполовину исследуемой жидкостью, в которые помещали по одной цериодафнии из синхронизированной культуры возрастом не более двух суток. Определение токсичности проводили в 10 емкостях для каждой из исследованных концентраций. Температуру поддерживали на уровне 22–24°C, освещенность составляла 900–1000 Лк. Содержание растворенного в воде кислорода в конце эксперимента составляло не менее 4 мг/дм<sup>3</sup>, уровень рН находился в пределах 7.0–7.3. Цериодафний кормили водорослевой суспензией, приготовленной согласно методике [27] перед началом эксперимента, а затем ежедневно по одному разу. Учет смертности в опытной и контрольной группах проводили каждый час до конца первого дня опыта, а затем два раза в сутки до окончания эксперимента. Неподвижных особей считали погибшими, если они не начинали двигаться в течение 15 секунд после покачивания стакана. Расчет полуметальных (ЛК<sub>50-48</sub>) и безвредных (БК<sub>10-48</sub>) концентраций вели с использованием пробит-анализа.

Методика определения токсичности на культуре зеленых протоккокковых водорослей (*Scenedesmus quadricauda* (Turpin) Brebisson, 1835) основана на регистрации темпа роста (снижения численности) клеток водорослей под воздействием токсических веществ, (опыт) по сравнению с контрольной культурой в пробах, не содержащих токсических веществ (контроль). Устанавливалась острая токсичность или ингибирующая ингибирующая кратность разбавления (ИКР<sub>50-72</sub>) водных вытяжек, вызывающая снижение численности клеток водорослей на 50 % и более по сравнению с контролем за 72 часа экспозиции; безвредная (не вызывающую эффекта острой токсичности) кратность разбавления (БКР<sub>20-72</sub>) водных вытяжек, вызывающих снижение численности клеток водорослей не более чем на 20% по сравнению с контролем за 72 часа экспозиции.

Об угнетении водорослей в опыте по сравнению с контролем судили по снижению численности клеток водорослей через 72 часа от начала биотестирования.



Для биотестирования использовали альгологически чистую культуру водорослей *Scenedesmus quadricauda*, находящуюся в экспоненциальной стадии роста (3–5 суток после посева). В стеклянные плоскодонные колбы вместимостью 250 см<sup>3</sup> наливали по 100 см<sup>3</sup> контрольной (дистиллированной воды с рН 7.0–7.5) и исследуемой жидкости. Повторность двукратная. Затем в каждую колбу пипеткой стерильно, над пламенем горелки добавляли по 0.1 см<sup>3</sup> раствора реактивов, согласно методике [28]. Содержимое колб перемешивали. Затем во все колбы добавляли равные объемы суспензии водорослей, с учетом того, чтобы численность клеток в них составила 25–35 тыс. кл./см<sup>3</sup>. После внесения водорослей колбы вновь перемешивали. Затем производили подсчет клеток водорослей в камере Горяева во всех контрольных и испытуемых пробах. В каждой колбе дважды подсчитывали численность клеток. Содержимое колб вновь перемешивали, закрывали стерильными ватно-марлевыми пробками и устанавливали в люминостат при температуре от +22°C до +25°C, освещенности 3000–10000 Лк, световой период – 24 часа. Клетки водорослей поддерживали во взвешенном состоянии в колбах путем встряхивания 1–2 раза в сутки, чтобы улучшить газообмен и сократить колебания водородного показателя за счет выделяющегося углекислого газа водорослями в исследуемых растворах.

Через 72 часа от начала биотестирования проводили подсчет численности клеток в камере Горяева в контрольных и опытных колбах. Численность водорослей в контроле увеличивалась не менее чем в 10 раз за 72 часа экспозиции. Изменение рН в конце эксперимента составляло не более 1.5.

При определении острого токсического действия для каждого разведения по результатам двух параллельных определений вычисляли среднее значение численности клеток по формуле:

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n}$$

где  $\bar{X}$  – среднее значение тест-параметра (уровня флуоресценции или численности клеток);  $X_i$  – значения тест-параметра в  $i$ -том параллельном определении;  $n$  – количество параллельных определений.

Рассчитывали относительное (в %) изменение численности клеток водорослей для каждого разведения по сравнению с контролем ( $I$ ):

$$I = \frac{\bar{X}_x - \bar{X}_o}{\bar{X}_x}$$

где  $\bar{X}_x$  – среднее значение тест-параметра в контроле,  $\bar{X}_o$  – среднее значение тест-параметра в опыте.

Характеристики степени токсичности испытуемой среды приведены в таблице 3.

**Таблица 3**  
**Характеристики степени токсичности**  
**испытуемого раствора**

Отклонение от контроля, %	Оценка
до 20	нетоксичная
от 50 и более	острая токсичность

Стимуляцию (противоположная угнетению реакция тест-объектов на воздействие токсикантов) до уровня 30% по сравнению с контролем считали как нетоксичное действие испытуемой воды на тест-объект.

Значения ИКР<sub>50-72</sub> и БКР<sub>20-72</sub> рассчитывали с помощью пробит-анализа.

Исследование острой токсичности с использованием биосенсора «Эколюм» (культура люминесцентных генноинженерных бактерий *Escherichia coli*, 1885, М-17) основано на определении изменения интенсивности биолюминесценции бактерий при воздействии токсикантов. Острое токсическое действие исследуемой пробы на препарат «Эколюм» определяли по гашению биолюминесценции за 30-минутный период экспозиции. Для разбавления использовали дистиллированную воду, температура которой составляла 20°C, уровень рН находился в пределах 7.0–7.2. На 0.1 мл суспензии бактерий в кювету люминометра добавляли 0.9 мл тестируемого раствора или дистиллированной воды (контроль). На протяжении периода экспозиции в помещении поддерживали следующие условия: температура воздуха 20°C, относительная влажность воздуха не более 80%. Определение эффективной токсической концентра-



ции (ЭЛК<sub>50</sub>) и безвредной концентрации (ЭБК<sub>20</sub>) вели по показаниям прибора «Биотокс-10».

### Результаты и их обсуждение

По результатам биотестирования углеродного наноструктурного материала «Таунит» на тест-объекте – цериодафнии установлено, что водная вытяжка из углеродного наноматериала «Таунит» оказывает токсическое действие на тест-объект-цериодафний без разведения и в разведении в 10 раз. При разведении в 100 раз (концентрация 1%) водная вытяжка не оказывает токсического действия. Безвредная кратность разведения < 100 раз, следовательно, испытуемый материал относится к IV классу опасности для окружающей природной среды (ОПС).

Биотестирование углеродного наноструктурного материала «Таунит» на тест-объекте – *Scenedesmus quadricauda* показало, что наноматериала оказывает токсическое действие на тест-объект *Scenedesmus quadricauda* в концентрациях 100% и 1%; в концентрации 0,1% (разведение в 1000 раз) водная вытяжка не оказывает токсического действия на тест-объекты. Безвредная кратность разведения водной вытяжки находится в интервале 101–1000 раз, что позволяет отнести испытуемый материал к III классу опасности для ОПС.

По итогам биотестирования углеродного наноструктурного материала «Таунит» на тест-объекте – биосенсор «Эколюм» установлено, что водная вытяжка из наноматериала оказывает токсическое действие на тест-систему «Эколюм» в концентрациях 100%, 10%, 1%, 0,5%, в концентрации 0,1% (разведение в 1000 раз) водная вытяжка не оказывает токсического действия. Безвредная кратность разведения водной вытяжки находится в интервале 101–1000 раз, следовательно, испытуемый материал относится к III классу опасности для ОПС.

Сводные результаты экспериментов отражены в таблице 4.

Таблица 4

#### Оценка воздействия углеродного наноматериала на тест-объекты

Тест-объект	Концентрация коллоидного раствора наноматериала (%); в скобках указана кратность разведения раствора водой					Класс опасности
	100 (1×)	10 (10×)	1 (100×)	0.1 (1000×)	0.01 (10000×)	
Цериодафнии	0	0	1	1	1	IV
<i>Scenedesmus quadricauda</i>	0	0	0	1	1	III
Тест-система «Эколюм»	0	0	0	1	1	III

Примечание: 0 – гибель организмов, 1 – организмы выжили.

Таким образом, по результатам комплексного биотестирования установлено, что углеродный наноматериал «Таунит» относится к III классу опасности для ОПС (умеренно опасные вещества). Это соответствует классу опасности такого распространенного природного углеродного наноструктурного материала, как сажа. Относительно низкая токсичность многостенных углеродных нанотрубок согласуется с результатами других исследований [21, 22]

Механизмами токсического действия наноматериала может служить повреждение мембран клеток, окислительный стресс [25] или механическое воздействие агломератов наноматериала на органы дыхания в случае цериодафний [32].

Были проведены расчеты полулетальных и безвредных концентраций для используемых тест-объектов. При этом наименее чувствительными к действию наноматериала оказались цериодафнии, а наиболее чувствительными – бактерии и водоросли. Установлено, что безопасная для наиболее чувствительного из тест-объектов – микроводоросли *Scenedesmus quadricauda* концентрация углеродного наноматериала «Таунит» в водной среде составляет 2 мг/л.



### Заключение

Таким образом, проведена оценка острого токсического действия промышленно производимого углеродного наноструктурного материала (многостенных углеродных нанотрубок) на цериодафний, одноклеточные зеленые водоросли и бактерии. Установлено, что исследуемый наноматериал относится к III классу опасности для окружающей природной среды (умеренно опасные вещества). Организмами, наиболее устойчивыми к действию наноматериала, оказались цериодафнии, наименее устойчивыми – микроводоросли и бактерии. Показано, что безопасные концентрации углеродного наноматериала в водной среде лежат в диапазоне ниже 2 мг/л.

Полученные результаты могут быть учтены при разработке норм безопасности при производстве, хранении, транспортировке, эксплуатации и утилизации продукции, содержащей углеродные наноматериалы.

### Список литературы

1. Фостер Л. Нанотехнологии. Наука, инновации, возможности. – М.: Техносфера, 2008. – 352 с.
2. Постановление Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 31 октября 2007 г. N 79 г. Москва «Об утверждении Концепции токсикологических исследований, методологии оценки риска, методов идентификации и количественного определения наноматериалов» / «Российская газета» – Федеральный выпуск № 4533 от 1 декабря 2007 г.
3. Лысцов В.Н., Мурзин Н.В. Проблемы безопасности нанотехнологий. – М., МИФИ, 2007. – 70 с.
4. Алексеева О. Новая дисциплина – нанотоксикология // Перспективные технологии. – 2007. – Т. 14. – № 19. – С. 2–4.
5. Baun A., Sorensen S.N., Rasmussen R.F., Hartmann N.B., Koch C.B. Toxicity and bioaccumulation of xenobiotic organic compounds in the presence of aqueous suspensions of aggregates of nano-C<sub>60</sub> // *Aquatic Toxicology*. – 2008. – V.86. – P. 379-387.
6. Neal A.L. What can be inferred from bacterium-nanoparticle interactions about the potential consequences of environmental exposure to nanoparticles? // *Ecotoxicology*. – 2008. – Vol. 17. – P.362–371.
7. Jia G., Wang H.F., Yan L., Wang X., Pei R.J., Yan T., Zhao Y.L., Guo X.B. Cytotoxicity of carbon nanomaterials: single-wall nano-tube, multi-wall nanotube, and fullerene // *Environmental Science and Technology*. – 2005. – Vol. 39. – P. 1378-1383.
8. Kostarelos K. The long and short of carbon nanotube toxicity // *Nature Biotechnology*. – 2008. – Vol. 26. – №7, July. – P. 774-776.
9. Miyawaki J., Yudasaka M., Azami T. et al. Toxicity of Single-Walled Carbon Nanohorns // *Acsnano*. – 2008. – Vol. 2. – №2. – P. 213–226.
- Poland C. A., Duffin R., Kinloch I. et al. Carbon nanotubes introduced into the abdominal cavity of mice show asbestoslike pathogenicity in a pilot study // *Nature Nanotechnology*. – 2008. – Vol. 3. – July. – P. 423-428 [Zhao Yuliang, Xing Genmei, Chai Zhifang. Are carbon nanotubes safe? // *Nature Nanotechnology*. – 2008. – №4, March. – P. 191-192.
10. Zhu X., Zhu L., Chen Y., Tian S. Acute toxicities of six manufactured nanomaterial suspensions to *Daphnia magna* // *Journal of Nanoparticles Research*. – 2009. – Vol. 11. – P. 67–75.
11. Kusk K.O., Wollenberger L. Fully defined saltwater medium for cultivation of and toxicity testing with marine copepod *Acartia tonsa* // *Environment Toxicology and Chemistry*. – 1999. – Vol. 18. – P. 1564-1567.
12. Oberdorster E., Zhu S.Q., Blickey T.M., Clellan-Green P., Haasch M.L. Ecotoxicology of carbon-based engineered nanoparticles: effects of fullerene (C<sub>60</sub>) on aquatic organisms // *Carbon*. – 2006. – Vol. 44. – P. 1112-1120.
13. Klaper R, Crago J, Barr J, Arndt D, Setyowati K, Chen J. Toxicity biomarker expression in daphnids exposed to manufactured nanoparticles: changes in toxicity with functionalization // *Environ Pollut*. – 2009. – Vol. 157. № 4, Apr. – P. 1152-6. [Epub 2008 Dec 17].
14. Petersen EJ, Pinto RA, Mai DJ, Landrum PF, Weber WJ Jr. Influence of polyethyleneimine graftings of multi-walled carbon nanotubes on their accumulation and elimination by and toxicity to *Daphnia magna* // *Environ Sci Technol*. – 2011. – Vol. 45. – № 3. Feb 1. – P. 1133-8. [Epub 2010 Dec 23].
15. Oberdorster E. "Manufactured nanomaterials (Fullerenes, C-60) induce oxidative stress in the brain of juvenile largemouth bass" // *Environ. Health Perspect*. – 2004. – Vol. 112. – № 10. – P. 1058-1062.
16. Cheng, J.P., Flahaut, E. and Cheng, S.H. "Effect of carbon nanotubes on developing zebrafish (*Danio rerio*) embryos" // *Environmental Toxicology and Chemistry*. – 2007. – Vol. 26. № 4. – P. 708-716.

17. Hartmann, N.B., Von der Kammer, F., Hofmann, T., Baalousha, M., Ottofuelling, S., Baun, A. "Algal testing of titanium dioxide nanoparticles –Testing considerations, inhibitory effects and modification of cadmium bioavailability" // *Toxicology*. – 2010. – Vol. 269. – P. 190–197.
18. Chad D. Vecitis, Mary H. Schnoor, Md. Saifur Rahaman, Jessica D. Schiffman, and Menachem Elimelech. Electrochemical Multiwalled Carbon Nanotube Filter for Viral and Bacterial Removal and Inactivation // *Environ. Sci. Technol.* – 2011. – Vol. 45. № 8. – P. 3672–3679.
19. Seoktae Kang, Mathieu Pinault, Lisa D. Pfefferle, and Menachem Elimelech. Single-Walled Carbon Nanotubes Exhibit Strong Antimicrobial Activity // *Langmuir*. – 2007. – Vol. 23. № 17. – P. 8670–8673.
20. Jessica D. Schiffman and Menachem Elimelech. Antibacterial Activity of Electrospun Polymer Mats with Incorporated Narrow Diameter Single-Walled Carbon Nanotubes // *ACS Appl. Mater. Interfaces*. – 2011. – Vol. 3. № 2. – P. 462–468.
21. Seoktae Kang, Moshe Herzberg, Debora F. Rodrigues and Menachem Elimelech. Antibacterial Effects of Carbon Nanotubes: Size Does Matter! // *Langmuir*. – 2008. – Vol. 24. – № 13. – P. 6409–6413.
22. Seoktae Kang, Meagan S. Mauter and Menachem Elimelech. Microbial Cytotoxicity of Carbon-Based Nanomaterials: Implications for River Water and Wastewater Effluent // *Environmental Science & Technology*. – 2009. – Vol. 43. – № 7. – P. 2648–2653.
23. Cheenou Yang, Jaouad Mamouni, Yongan Tang, and Liju Yang. Antimicrobial Activity of Single-Walled Carbon Nanotubes: Length Effect // *Langmuir*. – 2010. – Vol. 26. – № 20. – P. 16013–16019.
24. Seoktae Kang, Meagan S. Mauter and Menachem Elimelech. Physicochemical Determinants of Multiwalled Carbon Nanotube Bacterial Cytotoxicity // *Environ. Sci. Technol.* – 2008. – Vol. 42. – № 19. – P. 7528–7534.
25. Chad D. Vecitis, Katherine R. Zodrow, Seoktae Kang, and Menachem Elimelech. Electronic-Structure-Dependent Bacterial Cytotoxicity of Single-Walled Carbon Nanotubes // *ACS Nano*. – 2010. – Vol. 4. – № 9. – P. 5471–5479.
26. Ткачев А.Г., Золотухин И.В. Аппаратура и методы синтеза твердотельных наноструктур: монография / – М.: Изд-во Машиностроение-1, 2007. – 316 с.
27. Методика определения токсичности воды и водных вытяжек из почв, осадков сточных вод, отходов по смертности и изменению плодовитости цериодафний. Федеральный реестр (ФР) ФР.1.39.2007.03221. – М.: «АКВАРОС», 2007.
28. Методика определения токсичности вод, водных вытяжек из почв, осадков сточных вод и отходов по изменению уровня флуоресценции хлорофилла и численности клеток водорослей. Федеральный реестр (ФР) ФР.1.39.2007.03223. – М.: «АКВАРОС», 2007.
29. Методика определения токсичности воды и водных вытяжек из почв, осадков сточных вод и отходов по изменению интенсивности бактериальной биолюминесценции тест-системой «Эколюм». ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.11-04 16.1:2:3:3.8-04. – М., 2004 г.
30. Оценка безопасности наноматериалов *in vitro* и в модельных системах *in vivo*: Методические рекомендации. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. – 69 с.
31. Приказ МПР России от 15 июня 2001 г № 511 "Об утверждении критериев отнесения опасных отходов к классу опасности для окружающей природной среды" (не нуждается в государственной регистрации согласно заключению Минюста России от 24.07.2001 № 07/7483-ЮД; Природно-ресурсные ведомости, 2001, № 45)
32. Т.А. Колесникова, И.А. Фёдорова, А.А. Гусев, Д.А. Горин. Анализ острой токсичности полиэлектролитных микрокапсул, модифицированных наночастицами оксида цинка, и составляющих их компонентов на гидробионтах // *Российские нанотехнологии*. – 2011. – Т. 6. – № 3–4. – С. 64–73.

## ECOTOXICOLOGICAL RESEARCH OF CARBON NANOMATERIAL

**A.A. Gusev**<sup>1</sup> **A.V. Emeljanov**<sup>1</sup>  
**S.V. Shutova**<sup>1</sup> **A.G. Tkachev**<sup>2</sup>  
**A.J. Godymchuk**<sup>3</sup> **D.V. Kuznetsov**<sup>4</sup>

<sup>1</sup> G.R. Derzhavin Tambov State University  
 Internacionalinaya St., 33, Tambov, 392000,  
 Russia

E-mail: nanosecurity@mail.ru

<sup>2</sup> LLC «NanoTechCenter»

Sovietskaya St., 51, Tambov, 392000, Russia

<sup>3</sup> Tomsk Polytechnical University

Lenina Str, 30, Tomsk, 634050, Russia

<sup>4</sup> National University of Science and Technology «MISIS»  
 Leninsky Av., 4, Moscow, B-49, 119049, Russia

The estimation of acute toxic action of industrially made carbon nanomaterial (multiwalled carbon nanotubes) on *Ceriodaphnia affinis*, *Scenedesmus quadricauda*, *Escherichia coli* is obtained. It is established that the investigated nanomaterial belongs to the III class of danger to the natural environment (moderately dangerous substances). *Ceriodaphnia affinis* appeared to be the most resistant to the toxic influence of the nanomaterial, microalgae and bacteria – the least resistant. It is shown that safe concentration of carbon nanomaterial in water medium lie in the range below 2 mg/l.

Key words: Nanomaterials, Multiwalled Carbon Nanotubes, Ecotoxicology, Xenobiotics.



## ХИМИЯ

УДК 552.523:544.726.2

### ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ ИОНООБМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГЛИН

**А.Н. Чулков**  
**В.И. Дейнека**  
**Л.А. Дейнека**

*Белгородский государственный  
национальный исследователь-  
ский университет,  
Россия, 308015 Белгород,  
ул. Победы, 85  
E-mail: deineka@bsu.edu.ru*

В работе приводится анализ результатов кислотно-основного титрования глин и титрования глин раствором берберина в сопоставлении с ионообменной емкостью по отношению к антоцианам, берберину и метиленовому синему. Результаты сопоставлены с прямыми измерениями удельной поверхности по низкотемпературной сорбции азота. Показаны принципиальные различия в сорбции антоцианов, с одной стороны, и берберина и метиленового синего – с другой стороны, что может быть связано с изменением механизма сорбции и может приводить к завышенным оценкам удельной поверхности.

Ключевые слова: глина, кислотно-основное титрование, ионный обмен, антоцианы, берберин, метиленовый синий,

#### Введение

Среди природных слоистых минералов особое внимание в последнее время уделяют глинам, рассматриваемым в качестве наноструктурных материалов. Отнесение глин к нанобъектам связано с величиной межплоскостного расстояния, которое попадает в нанометровый диапазон [1]. Строго говоря, в данном случае слово «слой» должно быть замененным на другие слова, поскольку оно может быть применено для обозначения трех различных характеристик глин. Первичный слой, для названия которого рекомендуется слово «плоскость» (plane, [2]) образован атомами одного типа – кислорода, – по типу плотнейшей шаровой упаковки с пустотами, распределенными по определенному закону. Такой слой может быть основанием тетраэдрического или октаэдрического (или обоих сопряженных – с обеих сторон плоскости) слоев, для названия которых рекомендуется слово «сетка» (sheet). Наконец, такие сетки образуют «слой» (layer), как основную структуру слоистых минералов. В «межслоевом пространстве», разделяющем слои, могут находиться противоионы, нейтрализующие заряд слоев, молекулы воды и иные *соединения включения*, образующие «интеркалаты». Слой вместе с межслоевым пространством называется «пакетом» (unit structure). В идеале тетраэдрические слои образованы кремнекислородными тетраэдрами, а октаэдрические – алюмогидроксидными октаэдрами; в общих для этих слоев вершинах находятся атомы кислорода. Слои могут иметь заряд благодаря *гетеровалентному* изоморфизму: вместо атомов кремния ( $\text{Si}^{4+}$ ) в центры тетраэдров могут попадать атомы (чаще всего)  $\text{Al}^{3+}$  или  $\text{Fe}^{3+}$ ; в центрах октаэдрических полиэдров ионы  $\text{Al}^{3+}$  могут быть замещенным на  $\text{Fe}^{3+}$  (*изовалентное* замещение), а также на  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  и др. Этот изоморфизм приводит к существованию слоев с различными зарядами (как тетраэдрических, так и октаэдрических сеток). Кроме того возможно существование вакантных центров октаэдров, что приводит к большому разнообразию составов и строения природных слоистых минералов.

В группе каолинита минералы состоят из пакетов с одним тетраэдрическим слоем, построенным на одной из плоскостей октаэдрического слоя (такая слоистая структура обозначается символикой 1:1). В группе монтмориллонита октаэдрический слой с двух сторон имеет смежные тетраэдрические слои (обозначение структуры 2:1),

рис. 1. В группе гидрослюдов так же имеются трехслойные пакеты, отличающиеся от группы монтмориллонита прочной связью между пакетами – без дополнительного слоя противоположных и воды, характерных для структуры монтмориллонита. Известны также слоистые минералы с более сложным строением.

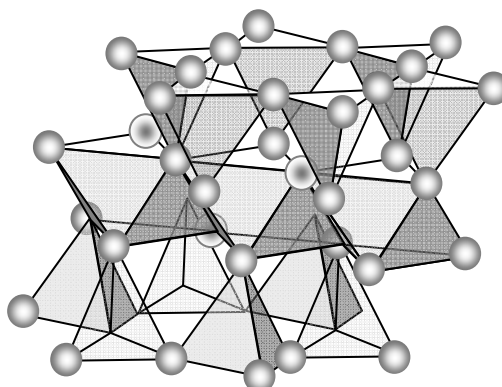


Рис.1. Строение слоя монтмориллонита

Минерал, в котором отсутствует центральный ион в одном из трех октаэдров структурной единицы (см. рис. 1), называют диоктаэдрическим (против триоктаэдрического – в идеальной структуре). Монтмориллонит, относящийся к диоктаэдрическим минералам, вследствие слабой связи между пакетами легко набухает в воде, и обладает высокой катионообменной емкостью (порядка 1 ммоль/г) [3], что позволяет рассматривать его как эффективный наноструктурированный сорбент, свойства которого к тому же могут быть изменены поверхностной химической или физической модификацией органическими веществами [4]. Практическое применение высоких катионообменных свойств глин известно в очистке питьевых и сточных вод от тяжелых металлов [3], в сорбционной очистке катионных органических соединений [5].

Настоящая работа посвящена исследованию некоторых свойств природных глин, определяющих их эффективность. Это необходимо для научно обоснованного выбора сырья для приготовления сорбентов, предназначенных для очистки и концентрирования природных органических соединений катионного строения [6, 7].

### Материалы и методы исследования

Для выделения глины исходный растертый в фарфоровой ступке материал смешивали с 0.1 М раствором  $HCl$ , смесь встряхивали, выдерживали в течение 0.5 ч для осаждения крупнодисперсных фракций, которые вновь измельчали в ступке для получения новой порции материала. Верхний слой отделяли от осадка декантацией и при седиментации взвеси в течение суток получали тонкодисперсную фракцию, использованную для дальнейшей работы после отмывания деионизированной водой и высушивания в сушильном шкафу при  $95^{\circ}C$ .

Величину удельной поверхности образцов оценивали по данным низкотемпературной адсорбции азота на анализаторе TriStar II 3020 (ЦКП БелГУ). Межплоскостное (межпакетное) расстояние в бентонитовой глине определяли с использованием рентгеновского дифрактометра Rigaku Ultima IV (ЦКП БелГУ).

В работе использован метод прямого титрования 0.02 М раствором  $NaOH$  водной суспензии глины в  $H^+$  форме и 10%-ного раствора хлорида натрия после ионного обмена с глинами с потенциметрической и кондуктометрической индикацией. Величины катионообменной емкости (КОЕ) глин рассчитывали по формуле 1.

$$КОЕ(мкмоль/г) = \frac{c(NaOH) \cdot V(NaOH)}{m_{навески}} \cdot 1000 \quad (1)$$

где  $c(NaOH)$  – концентрация раствора гидроксида натрия, моль/л;

$V(NaOH)$  – объем раствора гидроксида натрия пошедшего на титрование, мл;

$m_{навески}$  – масса навески глины, г.

Титрование глины берберином вследствие низкой растворимости берберина в воде проводили с использованием водно-ацетонитрильного (в соотношении 70:30 по объему) растворителя, который был использован также и для приготовления градуировочных растворов хлорида натрия (х.ч.) для определения отклика  $Na^+$ -селективного электрода (Элис-112М). Перед титрованием глину переводили в  $Na^+$ -форму.

Для расчета удельной поверхности глин по данным по сорбции метиленового синего, рассчитывали по формуле 2.

$$S_{уд} = \Gamma_{\max} S_m N_a \quad (2)$$

где  $S_m$  - площадь молекулы метиленового голубого,  $135 \text{ \AA}^2$  [8];  
 $N_a$  - постоянная Авогадро,  $6.02 \cdot 10^{23}$  моль $^{-1}$ ;  
 $\Gamma_{\max}$  - предельная адсорбция метиленового синего, мкмоль/г

### Результаты исследования и обсуждение

Результаты кислотно-основного титрования глин оказались весьма информативными. На кривой кондуктометрического титрования, рис. 2, в которой по оси  $Ox$  приведено число моль гидроксид-ионов на 1 г глины, обнаруживается минимум, напоминающий минимум при титровании раствора сильной кислоты раствором щелочи, т.е. соответствующая точка эквивалентности может соответствовать числу самых легко доступных, не связанных с основой слоев ионов водорода на внешней поверхности частиц глины. Для бентонитовой глины этот минимум близок к её предельной ионообменной емкости по антоцианам (83.5 мкмоль/г, табл.).

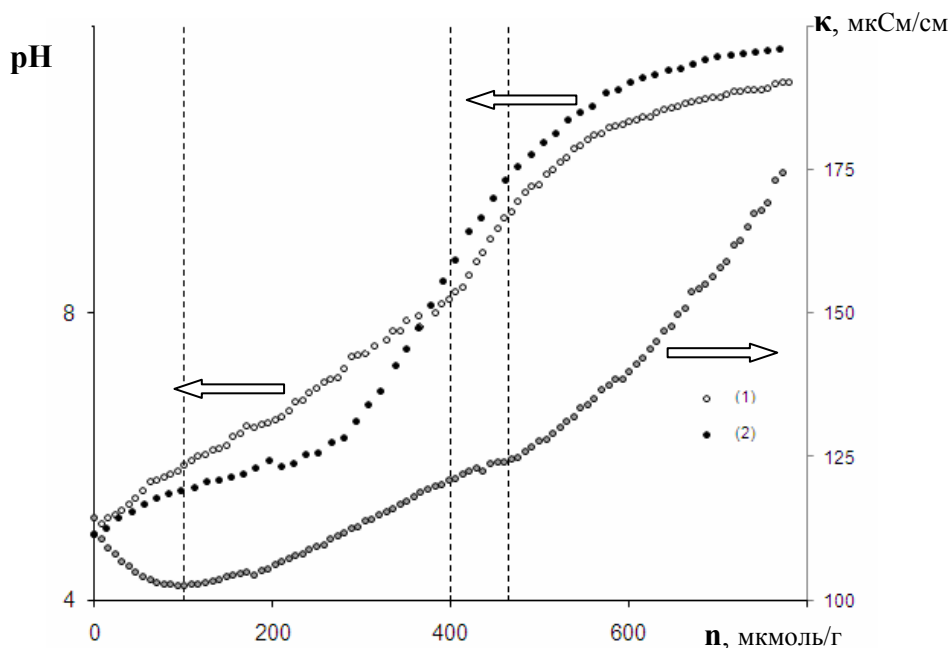
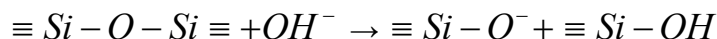


Рис. 2. Кривые титрования бентонитовой глины раствором щелочи  
 Кривые – потенциометрического титрования: ○ - взвеси глины; ● - равновесного раствора  $NaCl$  после установления ионообменного равновесия; ◐ - кондуктометрического титрования.

При площади участка поверхности глины, занимаемой молекулой антоциана при плоской сорбции на поверхности, порядка  $100 \text{ \AA}^2$ , расчет удельной поверхности дает результат около  $60 \text{ м}^2/\text{г}$ . С другой стороны, удельная поверхность этой же глины, измеренная по низкотемпературной адсорбции азота, примерно вдвое меньше –  $28 \text{ м}^2/\text{г}$ . При сорбции азота (в вакууме) пакеты монтмориллонита скорее всего агрегированы, а в водной среде при его набухании и последующей деагрегации увеличение доступной поверхности весьма вероятно, что и может служить объяснением полученного расхождения. На кривой потенциометрического титрования глин точка эквивалентности смещена вправо – до  $450 \text{ мкмоль}/\text{г}$ . Большое значение  $pH = 9$  для этой точ-

ки свидетельствует о титровании протонов слабой кислоты, например, поверхностных *Si-O-H* или *Al-O-H* групп. Титрование глин щелочью не исключает завышения результатов вследствие возможной деструкции силикатов, например по реакции расщепление силосановых связей:



Титрование равновесного раствора, получаемого при смешении 10% раствора хлорида натрия с глиной, в котором ионы натрия заменяют протоны сорбента, позволило получить близкий результат – 400 мкмоль/г, который может быть только частично занижен вследствие неполноты ионного обмена рис. 2, т.е. оценка ионообменной емкости по двум методам дает сопоставимые результаты.

Таблица

**Некоторые параметры свойств поверхности глин**

№	Образцы	КОЕ, мкмоль/г	$S_{уд.}$ , м <sup>2</sup> /г	$\Gamma_{пред.}^2$ , мкмоль/г
1	Неосмектин	620	39.7	126.3
2	Бентонитовая глина	445	28.5	83.2
3	Глина (М.Пристань)	390	19.3	65.3
4	Смекта	320	14.6	58.5

<sup>1</sup> - катионообменная емкость по титрованию до заданного pH (9.0);

<sup>2</sup> - величины избыточной сорбции антоцианов «Каркадэ».

В случае метиленового синего, часто используемого для оценки удельной поверхности сорбентов, и берберина предельная сорбция на этой же глине оказывается существенно выше – достигает 1100 и 950 мкмоль/г, соответственно. По площади, занимаемой одной молекулой метиленового синего, на поверхности сорбента (135 Å<sup>2</sup>), удельная поверхность образца глины составит 894 м<sup>2</sup>/г, что больше чем на порядок превышает данные полученные по низкотемпературной сорбции азоту. Если представить глину в виде идеальных не связанных друг с другом пакетов, то удельную поверхность 1 грамма такого материала можно рассчитать по формуле:

$$S_{yo} = 2 \frac{1}{\rho \cdot d} = 560 \text{ м}^2/\text{г}, \quad (3)$$

где  $\rho$  – плотность глины, 2.45 г/см<sup>3</sup>;

$d$  – межплоскостное расстояние, 1.456 нм,

2 – множитель учитывающий сорбцию с обеих сторон пакетов.

Поскольку расчет площади поверхности глины по сорбции метиленового синего почти в 1.5 раза превышает эту величину, то это может свидетельствовать о не плоской сорбции метиленового синего (и берберина) на поверхности глины, что предполагалось также и в некоторых опубликованных работах [5]. Следовательно, надежность определения площади поверхности по сорбции метиленового синего весьма сомнительна, поскольку возможно существенное завышение результатов. Кстати, по нашим данным изотермы адсорбции берберина на глинах описываются изотермой Фрейндлиха, что соответствует большой гетерогенности сорбционных центров [9] или смене механизма сорбции по мере заполнения поверхности [8], в то время как сорбция антоцианов обычно хорошо описывается уравнением Лэнгмюра.

Смена механизма сорбции берберина хорошо заметна по кривой титрования глины в  $Na^+$ -форме раствором берберина с индикацией  $Na^+$ -селективным электродом, рис. 3. На начальном участке, а) рис. 3, тангенс угла наклона асимптотической прямой линии лишь немногим меньше единицы (0.85), что соответствует ионообменному механизму сорбции берберина. На переходном участке, б) рис. 3, тангенс угла наклона увеличивается до 7, при этом в среднем для обоих участков а) и б) – 3.5, что соответствует вытеснению 3-4 моль ионов  $Na^+$  на один моль берберина. Сумма участков а) и б) соответствует ионообменной емкости глины, см. рис. 2. На третьем участке в) наблюдается непропорционально большое высвобождение ионов  $Na^+$  (тангенс угла наклона около 24), что можно интерпретировать как перестройку сорбционного монослоя берберина в неплоскую гидрофобную матрицу ассоциатов молекул – вплоть до уже известного верхнего предела по сорбции берберина (800 – 900 мкмоль/г).

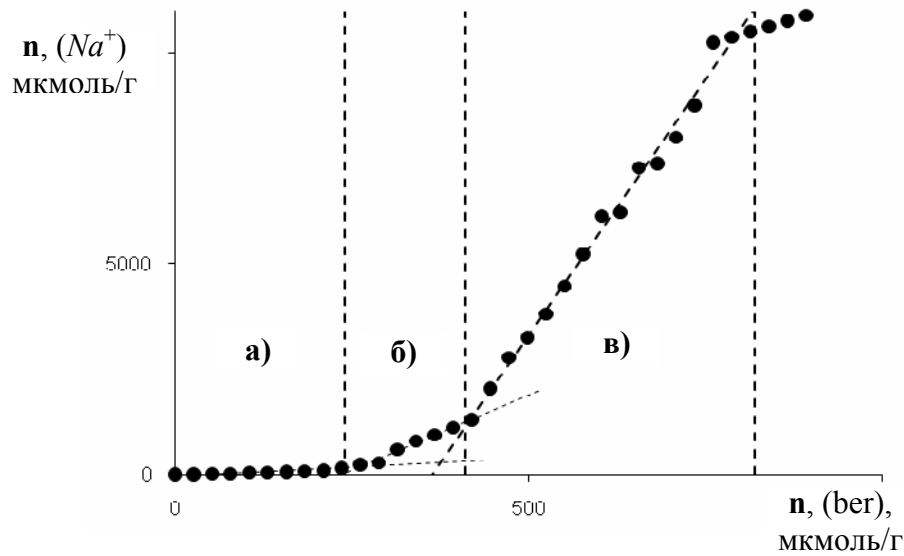


Рис. 3. Кривые титрования бентонитовой глины в  $Na^+$ -форме раствором берберина

Найденные выше особенности сорбционных свойств бентонитовой глины принципиально переносимы и на свойства других образцов глин, табл., рис. 4.

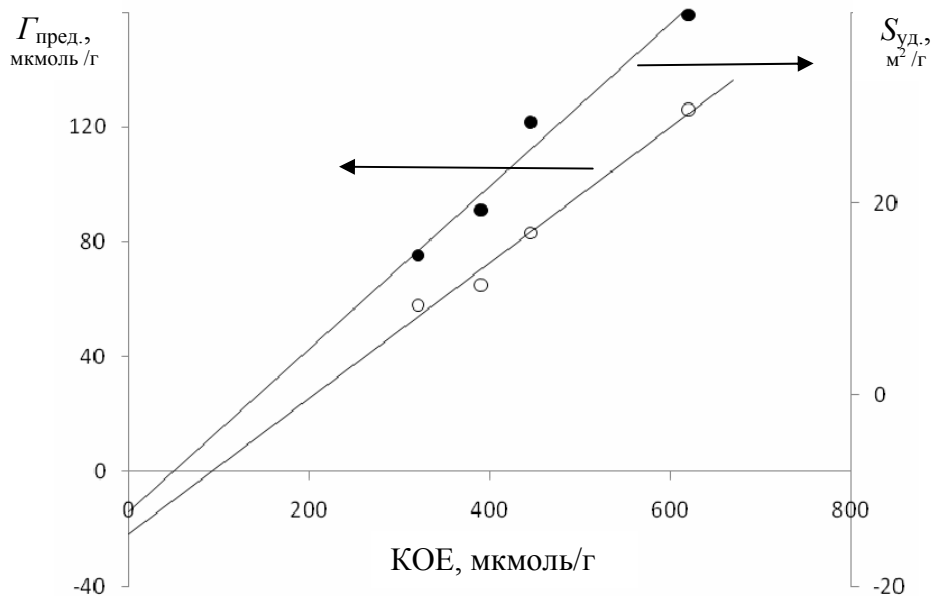


Рис. 4. Сопоставление свойств глин

В таблице приведена и в построении графиков используется ионообменная емкость глин, рассчитанная по титрованию до  $pH = 9$  (точка перегиба на кривой потенциометрического титрования взвеси глины, рис. 2). Это значение  $pH$  заметно больше, чем в известных предлагавшихся вариантах, по которым ионообменную емкость определяют по замещению ионов водорода на другие ионы до достижения примерно нейтральной среды [10]. Но результаты титрования для обмена  $H^+$  на  $Na^+$  в растворе хлорида натрия заметно превосходят расчетные параметры по титрованию до  $pH = 7$  – они соответствуют титрованию до  $pH$  выше 8.5, и нет никаких оснований считать эти результаты не соответствующими ионообменным процессам.



При таком подходе наблюдается удовлетворительная корреляция между катионообменной емкостью (КОЕ) и предельной избыточной сорбцией по антоцианам ( $G_{\text{пред.}}$ , из экстракта напитка «Каркадэ»), уравнение 4.

$$G = 0.24 \cdot \text{КОЕ} - 21.84 \quad (4)$$

Отрицательное значение интерсепта линейной аппроксимации в этом случае можно интерпретировать, как неучастие части протонов в сорбции антоцианов (т.е. результаты титрования немного завышены), а тангенс угла наклона соответствует замещению или экранированию четырех ионов водорода одним моль антоцианов, что примерно соответствует процессу ионообменной сорбции берберина.

С другой стороны, что неожиданно, наблюдается также линейная корреляция между КОЕ и удельной поверхностью, рассчитанной по низкотемпературной сорбции азота, так, как если бы эти глины различались лишь долей основного активного (в отношении ионного обмена) компонента (например, монтмориллонита) в суммарном минеральном составе исследованных глин.

### Выводы

В работе показано, что простые методы титрования глин могут быть использованы для получения важной информации о ряде фундаментальных свойств сорбентов на основе природных глин, включая информацию, указывающую на изменение механизма сорбции.

### Список литературы

1. Мазо М.А., Маневич Л.И., Балабаев Н.К. Молекулярно-динамическое моделирование структуры и термомеханического поведения кристаллов монтмориллонита // Российские нанотехнологии. – 2009. – Т. 4, № 9. – С. 118-135.
2. Guggenheim S., Adams J.M., Bain D.C., Bergaya F., Brigattis M.F., Drits V.A., Formoso M.L.L., Gala E., Kogure T., Stanje H. Summary of recommendations of nomenclature committees relevant to clay mineralogy: report of the Association Internationale pour l'Etude des Argiles (AIPEA) Nomenclature Committee for 2006 // Clay Minerals. – 2006. – Vol. 41. – P. 863-877.
3. Adamis Z., Fodor J., Williams R.B. Bentonite, kaolin, and selected clay minerals. Environmental Health Criteria 231. Americas of the World Health Organization. – 2005. – 196 p.
4. Hermosin M.C., Cornejo J. Removing 2,4-D from water by organo-clays // Chemosphere. – 1992. – Vol. 24. – P. 1493-1503.
5. Rytwo G., Nir S., Margulies L. Interactions of monovalent organic cations with montmorillonite – adsorption studies and model calculations // Soil Sci. Soc. Am. J. – 1995. – Vol. 59. – P. 554-564.
6. Дейнека В.И., Лебедева О.Е., Лазебная М.А., Анисимович И.П. Сорбция солей органических азотистых оснований на глинистых минералах // Сорбц. и хроматогр. процессы. – 2007. – Т. 7. – Вып. 3. – С. 473-480.
7. Дейнека Л.А., Чулков А.Н., Дейнека В.И. Сорбция антоцианов природными глинами: зависимость от строения антоцианов и состава экстрагентов // Ж. прикл. химии. – 2009. – № 5. – С. 742-748
8. Hang P.T., Brindley G.W. Methylene blue adsorption by clay minerals. Determination of surface area and cation exchange capacities (Clay-organic studies XVIII) // Clay Clay Minerals. – 1970. – Vol. 18. – P. 203-212.
9. Дейнека В.И., Чулков А.Н., Дейнека Л.А. Моделирование сорбционных процессов на гетерогенных поверхностях // Научные ведомости БелГУ. Серия: Естественные науки. – 2010. – №3(74), Вып.10. – С. 97-106.
10. Carroll D. Ion exchange in clays and other minerals // GSA Bulletin. – 1959. – Vol. 70. – P. 749-779.
11. Meier L.P., Kahr G. Determination of the cation exchange capacity (CEC) of clay minerals using the complex of copper (II) ion with triethylenetetramine and tetraethylenepentamine // Clays Clay Minerals. – 1999. – Vol. 47. – P. 386-388.



## PARTICULARITIES OF CLAY ION-EXCHANGE PROPERTIES ESTIMATION

**A.N. Chulkov**  
**V.I. Deineka**  
**L.A. Deineka**

*Belgorod State National Research  
University  
Pobedy St., 85, Belgorod, 308015,  
Russia*

*E-mail: [deineka@bsu.edu.ru](mailto:deineka@bsu.edu.ru)*

In the paper the results of the analysis of clay acid-base titration as well as titration with berberine in comparison with ion-exchange capacity with regard to anthocyanins, berberine and methylene blue have been reported. These were also directly compared with nitrogen low temperature sorption surface area calculation. The principal differences of anthocyanin and the two others – berberine and methylene blue - were pointed out, supposed to be the consequence of the sorption mechanism alteration, leading to the overestimation of the specific surface area.

Key words: clay, acid-base titration, ion exchange, anthocyanins, berberine, methylene blue.

## ИК-СПЕКТРОСКОПИЯ В ИЗУЧЕНИИ СОСТАВА КОМПОЗИТОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ИЗ РАСТИТЕЛЬНОГО И ЖИВОТНОГО СЫРЬЯ<sup>1</sup>

**Н.Г. Габрук**  
**И.И. Олейникова**  
**А.В. Метелев**  
**А.В. Давиденко**  
**Куинь Тхи Тхуи Чанг**

Белгородский государственный  
 национальный исследовательский  
 университет,  
 Россия, 308015 Белгород  
 ул. Победы, 85  
 E-mail: Gabruk@bsu.edu.ru;  
 Oleynikova@bsu.edu.ru

В работе исследован состав различных композитов методом ИК-спектроскопии. Объектами исследования выбраны хитин-меланиновый комплекс (ХМК), хитинглюкановый комплекс (ХГК), меланинсодержащий фитосорбент (МСФ), полученные из кутикулы пчелы *Apis mellifera*, шелухи подсолнечника *Helianthus annuus* L., гименофора гриба рода *Fomes*.

Ключевые слова: ИК-спектроскопия, состав, хитин-меланиновый комплекс, хитинглюкановый комплекс, меланинсодержащий фитосорбент.

### Введение

Растительные и животные объекты являются доступным и экономичным сырьем для получения композитов, обладающих сорбционными свойствами, и могут быть использованы в качестве основы для получения модифицированных энтеросорбентов с заданными биологическими свойствами. Такие композиты отвечают основным требованиям, предъявляемым к энтеросорбентам: полная безвредность и нетоксичность; высокая биосовместимость; неповреждающее действие на слизистые оболочки; избирательная сорбция низкомолекулярных и среднемолекулярных токсичных метаболитов; высокая адсорбционная емкость; отсутствие побочных эффектов [1].

### Экспериментальная часть

Для получения биосорбентов были использованы объекты органического происхождения: кутикула пчелы *Apis mellifera* L., гименофор трутового гриба рода *Fomes* и шелуха подсолнечника *Helianthus annuus* L. Нами были получены композиты: хитин-меланиновый комплекс (ХМК), хитинглюкановый комплекс (ХГК), меланинсодержащий фитосорбент (МСФ) [2–5].

Для оценки степени однородности состава полученных образцов использовали метод инфракрасной спектроскопии, основанный на избирательном поглощении инфракрасного излучения веществом.

При идентификации молекул органических веществ особое внимание уделяют области спектра 1300–600 см<sup>-1</sup>. В эту область попадают полосы, отвечающие колебаниям одинарных связей C–C, C–N, C–O, а также многие деформационные колебания. В результате сильного взаимодействия этих колебаний отнесение полос к отдельным связям невозможно, однако весь набор полос в этой области спектра является характеристикой ядерного остова (скелета) молекул в целом (область «отпечатков пальцев») [6].

На рис. 1–3 представлены ИК-спектры полученных композитов (NICOLET 6700 FT-IR)

В спектре ХМК, представленном на рис. 1, большинство пиков качественно совпадает с известной информацией [7]. Отсутствие пиков в области 3300–3400 см<sup>-1</sup>, ха-

<sup>1</sup> Работа выполнена в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-инновационные кадры России» на 2009–2013 годы (П-996 «Использование инструментальных методов анализа в оценке структурных особенностей и физико-химических свойств наноразмерных энтеросорбентов»)

раактерных для *ОН*-групп, можно объяснить тем, что подавляющее количество гидроксильных групп связано межмолекулярными или внутримолекулярными связями, как между собой, так и с пигментом и белками. Имеются некоторые свободные *N-H*-группы ( $3300\text{см}^{-1}$ ), другие *N-H*-группы связаны водородными связями, (пик размыт).

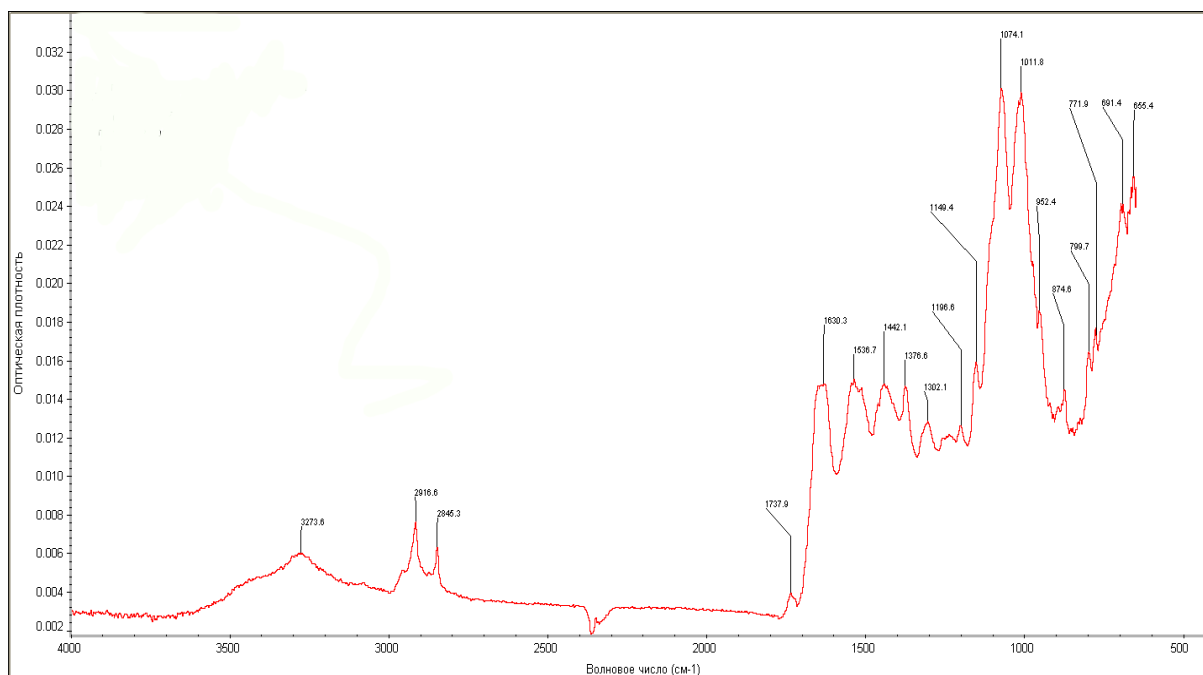


Рис. 1. Спектр ХМК из кутикулы пчелы

В области  $3000 - 2800\text{ см}^{-1}$  имеются два пика, характерных для метиленовых групп пиранозного кольца. Отсутствие каких либо других пиков в области  $4000 - 1700\text{ см}^{-1}$  указывает на отсутствие иных функциональных групп.

В области  $1700 - 800\text{ см}^{-1}$ , также называемой областью «отпечатков пальцев», имеются все пики, характерные для мономера хитина. А именно:  $1655\text{ см}^{-1}$  – *C=O*-связь;  $1554\text{ см}^{-1}$  – *C=O*-связь; в области  $900 - 1100\text{ см}^{-1}$  находятся два пика поглощения, которые соответствуют эфирной связи в кольце и  $\beta$ -глюкозидной, соединяющей пиранозные кольца, то есть изменение этих пиков можно интерпретировать как уменьшение длины полимерной цепочки, и следовательно, уменьшение молекулярной массы полимера. Возможной причиной разрушения мономера могут быть слишком жесткие условия его получения.

Спектральные данные, полученные при исследовании сорбента из гименофора трутового гриба, позволяют сделать вывод о наличии следующих функциональных групп (рис. 2): полоса  $1600\text{ см}^{-1}$ , отвечает валентным колебаниям связи *C=O* карбонильной группы в амидах кислот, а полоса в области  $1350\text{ см}^{-1}$  соответствует сумме колебаний связей *N-H* и *C-N* в амидах. В области  $3500 - 3100\text{ см}^{-1}$  ИК-спектра проявляются валентные колебания гидроксильных групп. Полоса  $1075\text{ см}^{-1}$ , характеризует колебание моста *C-O-C* глюкопиранозного кольца, ее интенсивность связана с числом связей. Полоса  $1035\text{ см}^{-1}$ , соотносится с валентными колебаниями *C-O*-связи в первичной спиртовой группе в различных конформациях. Полоса  $890\text{ см}^{-1}$  в спектре характеризует асимметричное колебание кольца в противофазе и колебание атома углерода и четырех окружающих его атомов в спектрах  $\beta$ -гликозидных структур [6].

При изучении состава отдельных меланинов разных групп организмов выявилась определенная закономерность: меланины животных всегда азотсодержащие соединения, а растительные меланины, или фитомеланины либо полностью лишены азота, либо содержат его в незначительных количествах [8]. Поскольку в образовании меланинов участвуют разнородные по строению исходные мономеры без строгой закономерности в их чередовании, строение меланинов весьма сложно и разнообразно.

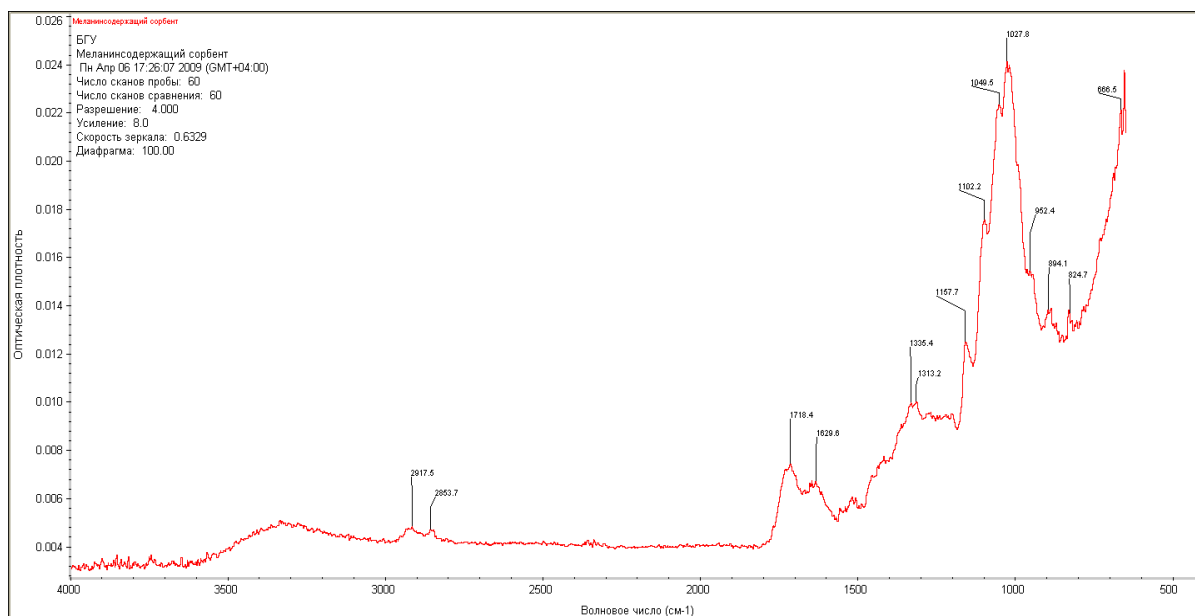


Рис. 2. ХГК из гименофора трутового гриба

ИК-спектр МСФ, полученного из шелухи подсолнечника (рис. 3), показывает, что данный композит является полимером хиноидных соединений. Присутствие ароматических колец обнаруживается по полосе в области  $1600\text{--}1650\text{ см}^{-1}$ . Пики при  $894$  и  $824\text{ см}^{-1}$  выражают высокоплоскостные деформационные колебания в ароматическом кольце. Интенсивная полоса с пиками  $1027$ ,  $1049$ ,  $1102\text{ см}^{-1}$  обусловлена валентными колебаниями  $\text{C}=\text{O}$ . Полоса при  $1718\text{ см}^{-1}$  относится к группам  $\text{COOH}$ . Пики  $1335$ ,  $1313$  соответствуют колебаниям групп  $\text{CH}_3\text{--CH}_2\text{--}$ .

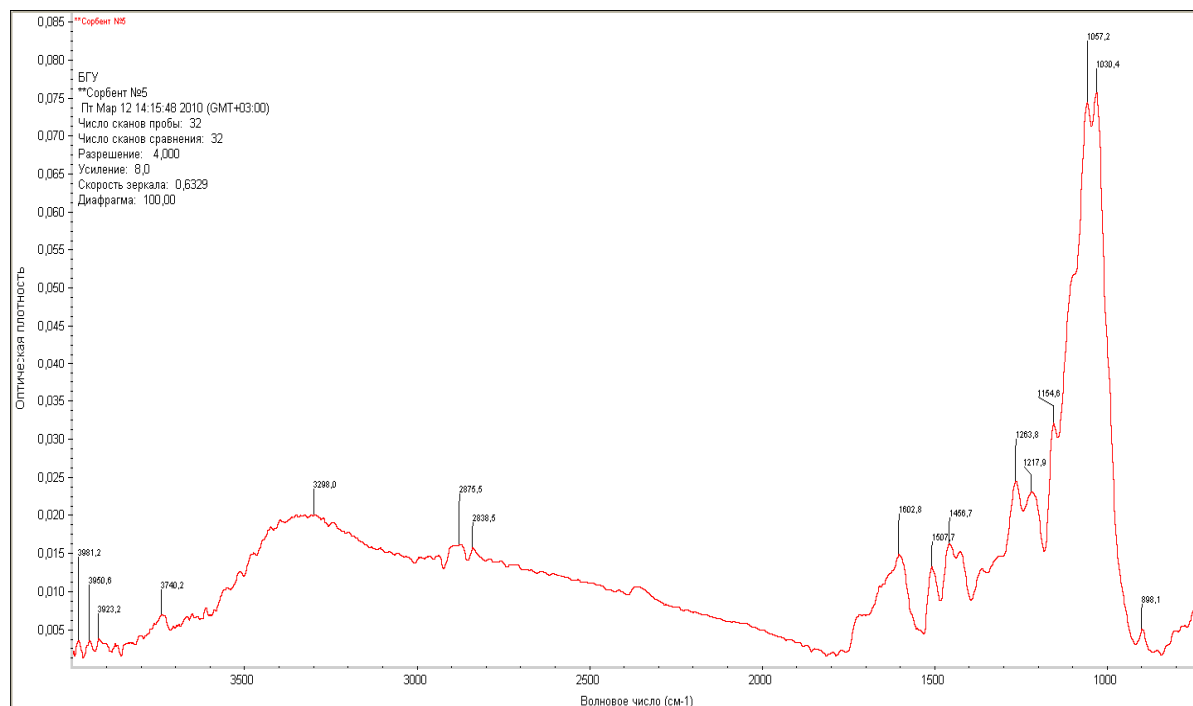


Рис. 3. ИК-спектр МСФ из шелухи подсолнечника



## Выводы

С помощью метода ИК-спектроскопии произведена идентификация продуктов, полученных из органического материала: подтверждено, что наноразмерные композиты, выделенные из кутикулы пчелиного помора, гименофора трутового гриба и шелухи подсолнечника представляют собой ХМК, ХГК и МСФ соответственно. Обнаруженные в их составе функциональные группы позволяют прогнозировать высокую сорбционную активность композитов, что определяет возможность их использования в качестве эффективных энтеросорбентов.

## Список литературы

1. The development and research of sorbents for nanobiotechnology / A.V. Brykalov, E.V. Belik, E.M. Golovkina, F.A. Bostanova // Nanobio 6: International workshop on nanobiotechnologies. – Saint-Petersburg, 2006. – P. 68.
2. Патент № 2060818, РФ Способ получения меланинсодержащего фитосорбента и меланинсодержащий фитосорбент / А.Е. Донцов, М.А. Островский Оpubл. 27.05.1996. Бюл. № 19.
3. Габрук Н.Г., Олейникова И.И., Давиденко А.В., Хуинь Тхи Тхуи Чанг Нетрадиционное растительное сырье – источник биосорбентов. Новые достижения в химии и химической технологии растительного сырья // Материалы IV Всероссийск. конф., Барнаул, 2009. – С. 295.
4. Габрук Н.Г., Олейникова И.И., Метелев А. В., Давиденко А.В. Физико-химические методы в исследовании полученных энтеросорбентов» // Фундаментальные исследования. Медицина-биологические науки. – 2009. – № 9. – С.21–22.
5. Патент №2404996 РФ. Габрук Н.Г., Давиденко А.В., Олейникова И.И. Способ получения хитинсодержащих композитов из биомассы трутовых грибов для сорбционной очистки. Оpubл. 27.11.2011.
6. Казицына Л.А., Куплетская Н.Б. Применение УФ-, ИК-, ЯМР- и масс-спектроскопии в органической химии. – М.: Изд-во Моск. Ун-та, 1979. – 240 с.
7. Скрыбин К.Г. Хитин и хитозан: Получение, свойства и применение. – М: Наука, 2002. – 368 с.
8. Лях С.П. Микробный меланиногенез и его функция. – М.: Наука, 1981. – 247 с.

## IR-SPECTROSCOPY IN STUDYING OF STRUCTURE ENTEROSORBENTOV, THE RECEIVED FROM PLANT AND ANIMAL RAW MATERIALS

**N.G. Gabruk**  
**I.I. Oleynikova**  
**A.V. Metelev**  
**A.V. Davidenko**  
**Huin Thi Thui Chang**

*Belgorod State National Research  
University  
Pobedy St., 85, Belgorod, 308015, Russia  
E-mail: Gabruk@bsu.edu.ru;  
oleynikova@bsu.edu.ru*

In this article the structure of various sorbents is investigated by the IR-spectroscopy method. A chitin-melanin complex, a chitin-glucan complex, a melaniferous phytosorbent, obtained from the cuticle of bees *Apis Mellifera*, husks of sunflower *Helianthus annuus* L., a hynenophore of mushroom *Fomes* were chosen as the object of research.

Key words: sorbents, IR-spectroscopy, a chitin-melanin complex, a chitin-glucan complex, a melaniferous phytosorbent.

## СИНТЕЗ ПРОИЗВОДНЫХ ПИРРОЛО[3,2,1-DE]АКРИДИН-6-ОНА С УЧАСТИЕМ СЛАБЫХ ЭЛЕКТРОФИЛОВ

**Т.М. Алябьева**

*Белгородский университет по-  
требительской кооперации  
Россия, 308023, г. Белгород,  
ул. Садовая, 116-а  
E-mail: TMA@bupk.ru*

С целью поиска физиологически активных соединений осуществлен синтез новых производных гетероциклической системы пирроло[3,2,1-de]акридин-6-она с заместителями в пиррольном цикле. Исследованы физико-химические и спектральные характеристики синтезированных структур.

Ключевые слова: пирроло[3,2,1-de]акридин-6-он, реакция Манниха, реакция Даффа, 2-диметиламинометилпирроло[3,2,1-de]акридин-6-он, 2-формилпирроло[3,2,1-de]акридин-6-он.

### Введение

Ранее нами синтезирована новая гетероциклическая система пирроло[3,2,1-de]акридин-6-она, где пиррольный фрагмент непосредственно конденсирован с акридиновым циклом, путем взаимодействия индолина с 2-хлорбензойной кислотой в условиях реакции Ульмана, с последующей циклизацией и дегидрированием [1].

Фармакологический аспект подобного рода гетероциклических систем представляет определенный интерес, поскольку в живых организмах л-электроноизбыточная система пиррола участвует в процессах, связанных с передачей нервных импульсов и деятельностью центральной нервной системы; некоторые л-электронодефицитные гетероциклы, в том числе и акридин, обладают своеобразным мутагенным действием на ДНК, что предопределяет поиск в этом роду противоопухолевых препаратов нового типа [2]. Однако и до этого открытия была хорошо известна важность биологических свойств различных производных акридина, в первую очередь как антималярийных (акрихин) и антибактериальных (риванол, профлавин). Многие производные акридина обладают антипротозойной и психотропной активностью [3].

Синтезированная нами гетероциклическая система пирроло[3,2,1-de]акридин-6-она также показала различные виды биологической активности, в связи с чем была продолжена работа по синтезу производных этой гетероциклической системы и изучению их физиологической активности.

В настоящей работе представлены результаты синтеза производных пирроло[3,2,1-de]акридин-6-она с заместителями в пиррольном цикле, путем проведения некоторых типичных реакций электрофильного замещения – реакции Манниха и формилирования, продукты которых, в свою очередь, могут открыть широкие возможности для дальнейших превращений в ряду пирролоакридинов [4, 5].

### Экспериментальная часть

Для синтеза соединений использовались химически чистые реактивы и их растворы.

ИК спектры сняты на приборе UR-20 в суспензии с вазелиновым маслом или в растворителе, который указан в каждом конкретном случае.

УФ спектры получены на приборе Specord в этаноле.

Спектры ЯМР <sup>1</sup>H сняты на спектрометрах HA-100Д фирмы «Varian» и WP-360 фирмы «Bruker», внутренний стандарт ГМДС, растворитель указан в каждом конкретном случае.

**2-Диметиламинометилпирроло[3.2.1-de]акридин-6-он (2).** К 4 мл 33% водного раствора диметиламина при охлаждении льдом медленно приливают 2 мл уксусной кислоты, затем 1.5 мл 40% формалина и 0.88 г (4 ммоль) пирроло[3,2,1-de]акридин-6-она в 8 мл уксусной кислоты. Смесь нагревают до 80-85°C и выдерживают



вают при перемешивании в течение 4 часов. Реакционную массу охлаждают и подщелачивают 10% раствором *NaOH*. Выделившийся осадок отфильтровывают, промывают водой, сушат и хроматографируют на колонке с силикагелем, элюируют вначале этилацетатом, а затем ацетоном. Растворитель упаривают, образовавшееся масло при охлаждении кристаллизуется. Выход: 0,72 г (65%), температура плавления 113-115°C (из этанола). ИК спектр (вазелиновое масло),  $\nu_{\text{макс}}$ : 1687  $\text{см}^{-1}$ . УФ спектр,  $\lambda_{\text{макс}}(\lg \epsilon)$ : 206 (4.41), 239 (4.68), 262 (4.38), 286 (4.06), 334 (4.09), 392 нм (4.04). Найдено: *C* – 78.26; *H* – 5.79; *N* – 10.14%. Данные ЯМР <sup>1</sup>H спектра приведены в таблице.

Таблица  
Химические сдвиги ( $\delta$  м.д.) и константы спин-спинового взаимодействия (*J*, Гц) сигналов протонов пиррола[3,2,1-de]акридин-6-она и его производных

Соединение	Растворитель	Химические сдвиги протонов (м.д.)									Константы спин-спинового взаимодействия, ( <i>J</i> , Гц)
		<i>H</i> <sub>1</sub>	<i>H</i> <sub>2</sub>	<i>H</i> <sub>3</sub>	<i>H</i> <sub>4</sub>	<i>H</i> <sub>5</sub>	<i>H</i> <sub>7</sub>	<i>H</i> <sub>8</sub>	<i>H</i> <sub>9</sub>	<i>H</i> <sub>10</sub>	
1	DMCO-d <sub>6</sub>	8.56	7.06	8.06	7.53	8.24	8.3	7.43	7.86	8.01	<i>J</i> <sub>1,2</sub> =3.5; <i>J</i> <sub>3,4</sub> = <i>J</i> <sub>4,5</sub> =8.0; <i>J</i> <sub>7,8</sub> = <i>J</i> <sub>9,10</sub> =7.5; <i>J</i> <sub>8,9</sub> =7.0; <i>J</i> <sub>7,9</sub> =1.5; <i>J</i> <sub>8,10</sub> =1.0
2	(CD <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> CO	8.25	CH <sub>2</sub> 3.75 N(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> 2.29	-	7.51	-	8.4	7.4	7.85	-	<i>J</i> <sub>1CH<sub>2</sub></sub> =1.0; <i>J</i> <sub>3,4</sub> = <i>J</i> <sub>4,5</sub> =7.8; <i>J</i> <sub>7,8</sub> = <i>J</i> <sub>8,9</sub> =7.4; <i>J</i> <sub>8,10</sub> =1.7; <i>J</i> <sub>9,1</sub> =7.5; <i>J</i> <sub>7,9</sub> =1,1
3	(CD <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> CO	CH <sub>3</sub> 2.9	CH <sub>2</sub> 3.65 N(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> 2.29	-	7.42	-	8.3	7.41	7.8	-	<i>J</i> <sub>3,4</sub> = <i>J</i> <sub>4,5</sub> =8.0; <i>J</i> <sub>7,8</sub> =1.5; <i>J</i> <sub>8,9</sub> =7.8; <i>J</i> <sub>8,1</sub> =1.5; <i>J</i> <sub>9,1</sub> =7.5
4	DMCO-d <sub>6</sub>	9.5	CHO 10.16	8.5	7.62	8.25	8.32	7.48	7.9	8.03	<i>J</i> <sub>3,4</sub> = <i>J</i> <sub>4,5</sub> =8.2; <i>J</i> <sub>7,9</sub> =7.4; <i>J</i> <sub>8,9</sub> =7.2; <i>J</i> <sub>8,1</sub> =1.0

**1-Метил-2-диметиламинометилпирроло[3,2,1-de]акридин-6-он (3).** К 2 мл водного раствора диметиламина при охлаждении медленно приливают 2 мл уксусной кислоты, затем 0.75 мл 40% формалина и 0.47 г (2 ммоль) раствора 1-метилпирроло[3,2,1-de]акридин-6-она в уксусной кислоте. Смесь, перемешивая, выдерживают при 80°C в течение 2 часов. Выделившийся при обработке 10% раствором щелочи осадок отфильтровывают, промывают водой, сушат. После перекристаллизации из этанола получают 0.51 г (88%) соединения 3, температура плавления 292°C. ИК спектр (вазелиновое масло),  $\nu_{\text{макс}}$ : 1675  $\text{см}^{-1}$  (CO). УФ спектр,  $\lambda_{\text{макс}}(\lg \epsilon)$ : 207 (4.25), 243 (4.49), 261 (4.12), 292 (3.83), 407 нм (3.82). Найдено: *C* – 78.32; *H* – 6.0; *N* – 9.42%. *C*<sub>19</sub>*H*<sub>18</sub>*N*<sub>2</sub>*O*. Вычислено: *C* – 78.52; *H* – 6.21; *N* – 9.65%. Данные ЯМР <sup>1</sup>H спектра приведены в табл. 1.

**2-Формилпирроло[3,2,1-de]акридин-6-он (4).** Раствор 0.66 г (3 ммоль) пирроло[3,2,1-de]акридин-6-она и 0.7 г (5 ммоль) уротропина в 20 мл 33% уксусной кислоты кипятят 3 часа, затем добавляют 0.3 г уротропина и продолжают кипятить еще 1 час. По окончании реакции к смеси добавляют несколько капель концентрированной *HCl* и кипятят 2–3 мин. Растворитель упаривают, остаток растворяют в бутаноле и промывают раствором углекислого натрия, затем водой. Водный слой экстрагируют бутанолом. Объединенный бутанольный экстракт сушат, часть растворителя упаривают и при стоянии из раствора выпадают кристаллы, которые отфильтровывают и сушат. Получают 0.4 г (55%) вещества с температурой плавления 312°C (из бута-



нола). ИК спектр (вазелиновое масло),  $\nu_{\text{макс.}}$ : 1675  $\text{см}^{-1}$ , 1695  $\text{см}^{-1}$  (CO). УФ спектр,  $\lambda_{\text{макс.}}$  (lg $\epsilon$ ): 203 (4.4), 241 (4.65), 283 (4.13), 389 нм (3.9). Найдено: C – 77.48; H – 3.6; N – 5.62%.  $\text{C}_{16}\text{H}_9\text{NO}_2$ . Вычислено: C – 77.73; H – 3.65; N – 5.66%. Данные ЯМР  $^1\text{H}$  спектров представлены в таблице.

### Результаты и их обсуждение

При проведении реакции Манниха в условиях, описанных для индола, образование 2-диметиламинометилпирроло[3,2,1-de]акридин-6-она (2) можно было наблюдать только хроматографически. Для более полного превращения пирроло[3,2,1-de]акридин-6-она (1) реакция была проведена в более жестких условиях: избыток диметиламина и формальдегида, продолжительность реакции 4 часа, температура 80–90°C.

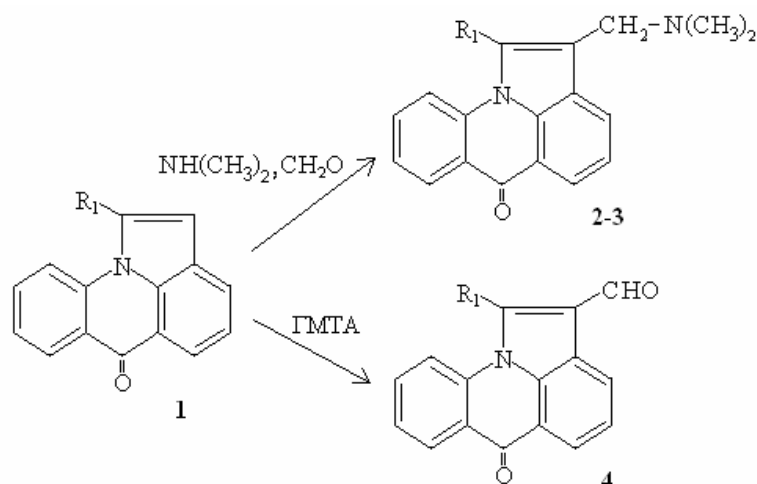


Рис. Синтез производных пирроло[3,2,1-de]акридин-6-она

Столь большую разницу в поведении пирролоакридон и индола следует видимо связать с значительным влиянием карбонильной группы, которое легко передается через ароматическую систему связей. Донорные же свойства метильной группы в 1-метилпирроло[3,2,1-de]акридин-6-оне значительно облегчают протекание этой реакции и при тех же соотношениях исходных компонентов высокий выход 1-метил-2-диметиламинометилпирроло[3,2,1-de]акридин-6-она (2) был достигнут через 2 часа.

Строение соединений 2 и 3 подтверждено данными ЯМР  $^1\text{H}$  спектра, где присутствуют сигналы протонов  $H_4$ ,  $H_8$ ,  $H_9$ , с соответствующими константами спин-спинового взаимодействия и низкопольный сигнал протона  $H_7$ . Протоны  $H_3$ ,  $H_5$ ,  $H_{10}$ , вследствие наложения, дают мультиплет в области 8–8.2 м.д. и 7.92–8.15 м.д. соответственно для соединений 2 и 3. Отсутствие в спектрах сигнала протона  $H_2$  и появление сигналов метиленовой и метильной групп по сравнению с исходными пирролоакридонами, указывает, что аминометильная группа заменила атом водорода в положении 2 (см. табл.).

Частота поглощения группы C=O в ИК спектрах оснований Манниха меняется незначительно по сравнению с исходными соединениями.

Данные элементного анализа синтезированных веществ соответствуют вычисленным.

Провести формилирование пирроло[3,2,1-de]акридин-6-она в положении 3 пиррольного цикла оказалось значительно более сложной задачей. Получить формильное производное по реакции Вильсмайера не удалось, поскольку в этих условиях хлорокись фосфора взаимодействует с карбонильной группой пирролоакридона с образованием соли – дихлорфосфата, которая, видимо, устойчива к атакам электрофилов.



В связи с этим исследована возможность получения альдегида по реакции Даффа, которая широко использовалась для синтеза формильных производных 6 и 7-азаиндола [6].

Кипячением пирроло[3,2,1-de]акридин-6-она в водном растворе уксусной кислоты с избытком уротропина был получен 2-формилпирроло[3,2,1-de]акридин-6-он (4) с 55% выходом.

Строение соединения 4 подтверждено данными элементного анализа, ИК и ЯМР  $^1\text{H}$  спектров.

В ИК спектре соединения 4 наблюдается две полосы поглощения в области 1675 и 1695  $\text{cm}^{-1}$ , которые следует отнести к частотам поглощения карбонильной группы акридинового цикла и формильной группы.

В спектре ЯМР  $^1\text{H}$  соединения 4 имеется характерный синглет альдегидного протона с  $\delta$  10.1 м.д.; отсутствие в спектре сигнала протона  $\text{H}_2$  и смещение в область слабого поля сигналов протонов  $\text{H}_1$  и  $\text{H}_3$ , за счет дезэкранирующего влияния карбонильной группы, указывает на присутствие заместителя в положении 2 (табл.).

### Выводы

Осуществлен синтез оснований Манниха и формилпроизводного пирроло[3,2,1-de]акридин-6-она и подобраны оптимальные условия проведения этих реакций. Исследованы физико-химические и спектральные характеристики синтезированных структур: 2-диметилпирроло[3,2,1-de]акридин-6-она, 1-метил-2-диметилпирроло[3,2,1-de]акридин-6-она и 2-формилпирроло[3,2,1-de]акридин-6-она.

### Список литературы

1. Алябьева Т.М., Суворов Н.Н., Хопштария Т.Е. Химия гетероциклических соединений. – 1979. – № 12. – С. 1610.
2. Ауэрбах Ш.А. Проблемы мутагенеза. – М.: Мир, 1978. – 305 с.
3. Schneider I., Evans E., Grunberg E., Eryer R., 1. Med. Chem. – 1982. – Vol. 15. – P. 266.
4. Gilchrist T.L. / Synthesis of aromatic heterocycles // J. Chem.Soc. Perkin Trans 1. – 1999. – P.2849–2866.
5. Gribble G.W. / Recent developments in indole ring synthesis – methodology and applications // J. Chem. Soc. Perkin Trans 1. – 2000. – P.1045–1076.
6. Park S.S., Choi J.-K., Yum E.K., Refvik M.D. / Synthesis of 5-, 5- and 7-azaindoles via palladium-catalyzed heteroannulation of internal alkynes // Tetrahedron Lett. – 1998. – Vol. 39. – P.5355–5358.

## SYNTHESIS OF PIRROLO[3,2,1-DE]ACRIDIN-6-ON DERIVATIVES WITH THE PARTICIPATION OF WEAK ELECTROPHILES

### T.M. Alyabieva

Belgorod University of Consumer  
Cooperatives  
Sadovaya St., 116a,  
Belgorod, 308023, Russia  
E-mail: TMA@bupk.ru

With the purpose of searching for new physiologically active combinations there has been carried out the synthesis of new derivatives of heterocyclic system of pirrolo[3,2,1-de]acridin-6-on with substitutes in pirrolic cycle. Physical, chemical and spectral characteristics of synthesized structures have been studied.

Key words: pirrolo[3,2,1-de]acridin-6-on, Mannich's reaction, Daff's reaction, 2-dimethylaminomethylpirrolo-[3,2,1-de]acridin-6-on, 2-formilpirrolo[3,2,1-de]acridin-6-on.

## АДСОРБЦИЯ ФОРМАЛЬДЕГИДА ИЗ ВОДНОГО РАСТВОРА НА ПРИРОДНЫХ И МОДИФИЦИРОВАННЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ СОРБЕНТАХ<sup>1</sup>

**О.Ю. Стрельникова**  
**Л.И. Бельчинская**  
**Н.А. Ходосова**

*Воронежская государственная  
лесотехническая академия  
Россия, 394613, г. Воронеж,  
ул. Тимирязева, 8  
E-mail: chem@vglta.vrn.ru*

Определены плотность, пористость, суммарный объём пор и обменная ёмкость минеральных сорбентов с клиноптилолитовой и монтмориллонитовой структурными составляющими. Исследованы изменения морфологии поверхности сорбентов. Изучена сорбция формальдегида из водного раствора на природных и модифицированных серной кислотой, полиметилорганосилоксаном и полиэтилорганосилоксаном алюмосиликатах. Установлено увеличение адсорбции формальдегида из водного раствора на модифицированных образцах. Показано, что для адсорбции формальдегида из водной среды наиболее эффективно использовать кислотную активацию сорбентов. При модификации адсорбентов органосилоксанами происходит избирательное взаимодействие однородной гидрофобизированной поверхности с молекулами формальдегида.

Ключевые слова: клиноптилолит, монтмориллонит, формальдегид, модификация, адсорбция.

### Введение

Деятельность деревообрабатывающих и мебельных предприятий сопровождается образованием большого количества сточных вод, газовых выбросов и твердых отходов, в которых присутствуют высокотоксичные загрязнители, такие как, формальдегид, стирол, толуол и др. Для очистки сточных вод от этих органических веществ применяются различные сорбенты. Адсорбционные свойства природных и искусственных сорбентов существенно улучшаются при проведении предварительной термической или реагентной активации [1, 2]. Задачей данной работы явилось модифицирование природных алюмосиликатов растворами серной кислоты, полиметилсилоксана, полиэтилсилоксана и изучение адсорбции формальдегида из водного раствора на полученных образцах.

### Объекты и методы исследования

С целью определения эффективного поглотителя формальдегида исследовались сорбенты: 1) слоистый минерал с 95% монтмориллонита ( $M_{95}$ ); 2) каркасный цеолит с 95% клиноптилолита ( $K_{95}$ ); 3) образец, содержащий 45% монтмориллонита и 20% клиноптилолита ( $M_{45}K_{20}$ ), и образцы, модифицированные серной кислотой, полиметилсилоксаном (ПМС), полиэтилсилоксаном (ПЭС).

Кислотную обработку минералов осуществляли в 2.33 М растворе серной кислоты, взятой в соотношении минерал : кислота – 1 : 4. Адсорбент с фракцией зерен менее 0.25 мм заливали раствором кислоты и нагревали при температуре 373 К в течение 6 часов, затем промывали дистиллированной водой до  $pH = 5$  и отфильтровывали, осадок высушивали при температуре 383°К до постоянной массы.

Модифицирование сорбентов органосилоксанами осуществлялось по методике [3]. Образцы помещали в колбу и заливали раствором органосилоксана в толуоле в соотношении 1 : 4. Колбу нагревали при температуре 353-373°К в течение 6 часов, затем осадок высушивали при температуре 383°К до постоянной массы.

Для определения величины адсорбции формальдегида из водного раствора к навеске адсорбента приливали раствор формальдегида с известной концентрацией и

<sup>1</sup> Работа выполнена в рамках Госконтракта № 14.740.11.0956.



выдерживали 1 час. Затем раствор отфильтровывали и определяли концентрацию формальдегида сульфитным методом [1].

Изменения морфологии поверхности сорбентов при их модификации определяли на сканирующем электронном микроскопе JSM-6380 LV.

Определение истинной и кажущейся плотности проводили пикнометрическим методом. Пористость и суммарный объём пор сорбента рассчитывали по значениям истинной и кажущейся плотности [4].

Определение ионообменной емкости минералов осуществляли по сумме вытесненных из нее обменных катионов. К навеске анализируемого сорбента 0,20 г приливали 200 мл 0,5 М раствора  $\text{NH}_4\text{Cl}$ . После достижения равновесия (3 часа) раствор отделяли от частиц минерала фильтрованием и анализировали на содержание ионов  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  в равновесном растворе. Определение содержания ионов натрия и калия проводили методом пламенной фотометрии, определение содержания ионов кальция и магния - методом комплексонометрии. Ионы меди определяли методом добавок. К пробе добавляют 10.0 мл ацетатного буфера ( $\text{pH} = 5.5$ ), вносят индикатор ксилиноновый оранжевый. Титрование проводят от бордово-фиолетового цвета до появления желто-зеленой окраски.

### Обсуждение результатов

Для исследуемых природных минералов определены основные параметры, характеризующие сорбционные и ионообменные свойства сорбентов (табл.).

Таблица

**Адсорбционно-структурные и ионообменные характеристики природных минералов**

Параметр	Сорбент		
	$\text{M}_{95}$	$\text{K}_{95}$	$\text{M}_{45}\text{K}_{20}$
Плотность (кг/см <sup>3</sup> )			
-насыпная	0.60	1.16	1.10
-кажущаяся	1.24	1.79	3.143
-истинная	2.75	2.8	4.30
Пористость(%)	36.70	57.92	26.91
Суммарный объём пор (см <sup>3</sup> /г)	0.20	0.44	0.09
Ионы $\text{Na}^+$ , ммоль/г	0.087	0.069	0.104
Ионы $\text{K}^+$ , ммоль/г	0.012	0.420	0.025
Ионы $\text{Ca}^{2+}$ , ммоль/г	0.360	0.700	1.150
Ионы $\text{Mg}^{2+}$ , ммоль/г	0.560	0.500	0.625
Ионы $\text{Cu}^{2+}$ , ммоль/г	0.097	0.067	0.062
Общая обменная емкость, ммоль/г	1.116	1.757	1.966

Особенности структуры и катионообменной емкости отражаются на сорбционном поведении природных алюмосиликатов.

Получены изотермы адсорбции формальдегида из водных растворов для природных образцов, представленные на рис. 1. Изотермы адсорбции формальдегида на природных сорбентах имеют выпуклую форму и описываются уравнением Ленгмюра.

При использовании природных алюмосиликатов адсорбция формальдегида из водного раствора максимальна для образца с 95% клиноптилолита, наименьшая – с 95% монтмориллонита. Высокая сорбция формальдегида обусловлена большей пористостью и количественным преимуществом обменных катионов в образце  $\text{K}_{95}$  (см. табл.). Большая адсорбция формальдегида на образце  $\text{M}_{45}\text{K}_{20}$ , по сравнению с  $\text{M}_{95}$ , вероятно обусловлена превалированием ионообменного механизма сорбции (минерал  $\text{M}_{45}\text{K}_{20}$  обладает наибольшей полной обменной ёмкостью – см. табл.).

На рис. 2 представлены изотермы адсорбции формальдегида из водных растворов для природных и модифицированных серной кислотой сорбентов.

Значение сорбционной емкости по формальдегиду на кислотномодифицированных сорбентах выше, чем на природных образцах: максимальная адсорбция формальдегида возрастает для образцов  $K_{95}$  и  $M_{45}K_{20}$  в 2 раза, для  $M_{95}$  – в 7 раз. Большая сорбция формальдегида на минералах, модифицированных серной кислотой, связана с декатионированием сорбентов, переходом их в водородную форму и качественным изменением катионообменного комплекса [1].

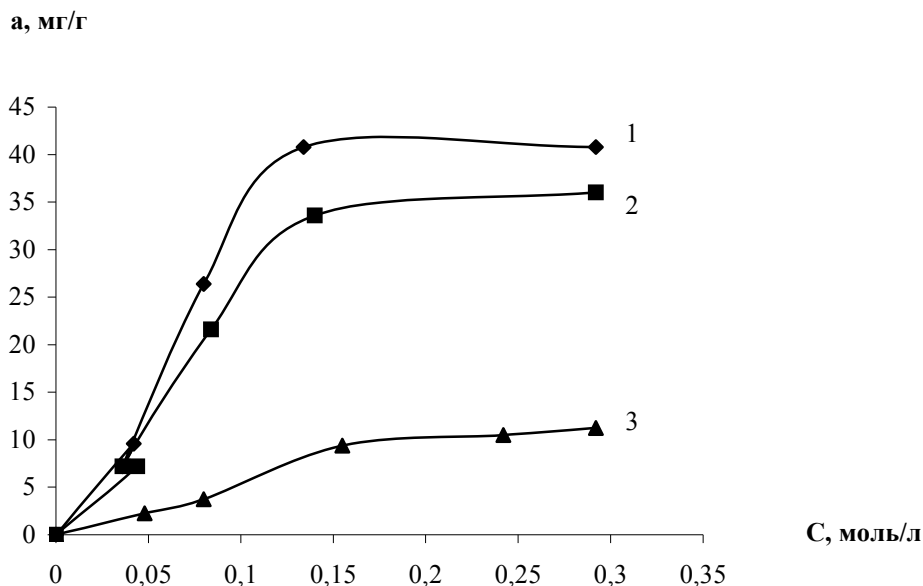


Рис. 1. Изотермы адсорбции формальдегида на природных сорбентах: 1 –  $K_{95}$ ; 2 –  $M_{45}K_{20}$ ; 3 –  $M_{95}$

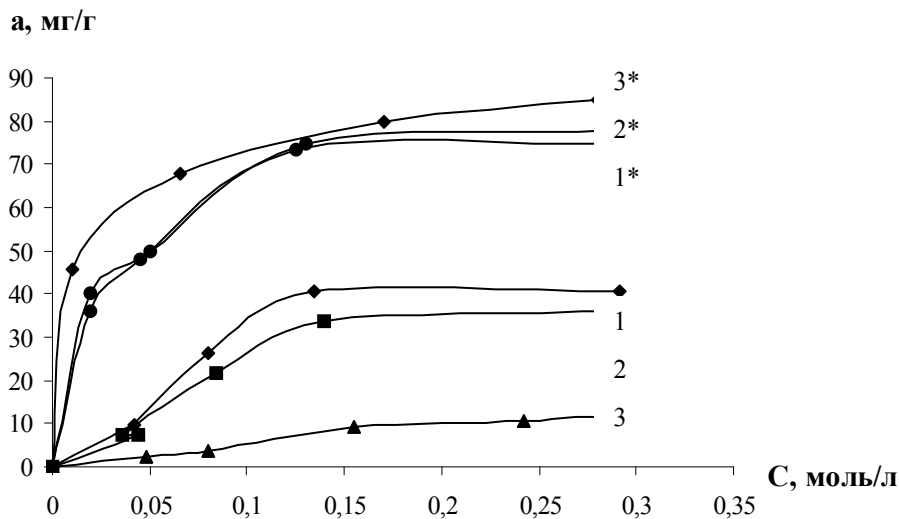


Рис. 2. Изотермы адсорбции формальдегида из водной среды на сорбентах: 1 – природный  $K_{95}$ ; 1\* – кислотномодифицированный  $K_{95}$ ; 2 – природный  $M_{45}K_{20}$ ; 2\* – кислотномодифицированный  $M_{45}K_{20}$ ; 3 – природный  $M_{95}$ ; 3\* – кислотномодифицированный  $M_{95}$

Кислотная активация приводит также к увеличению пористости образцов и изменению морфологии поверхности сорбентов (рис. 3). Наблюдается увеличение размеров пор образцов. Наибольшее влияние кислотная обработка оказывает на образец с 95 % монтмориллонита.

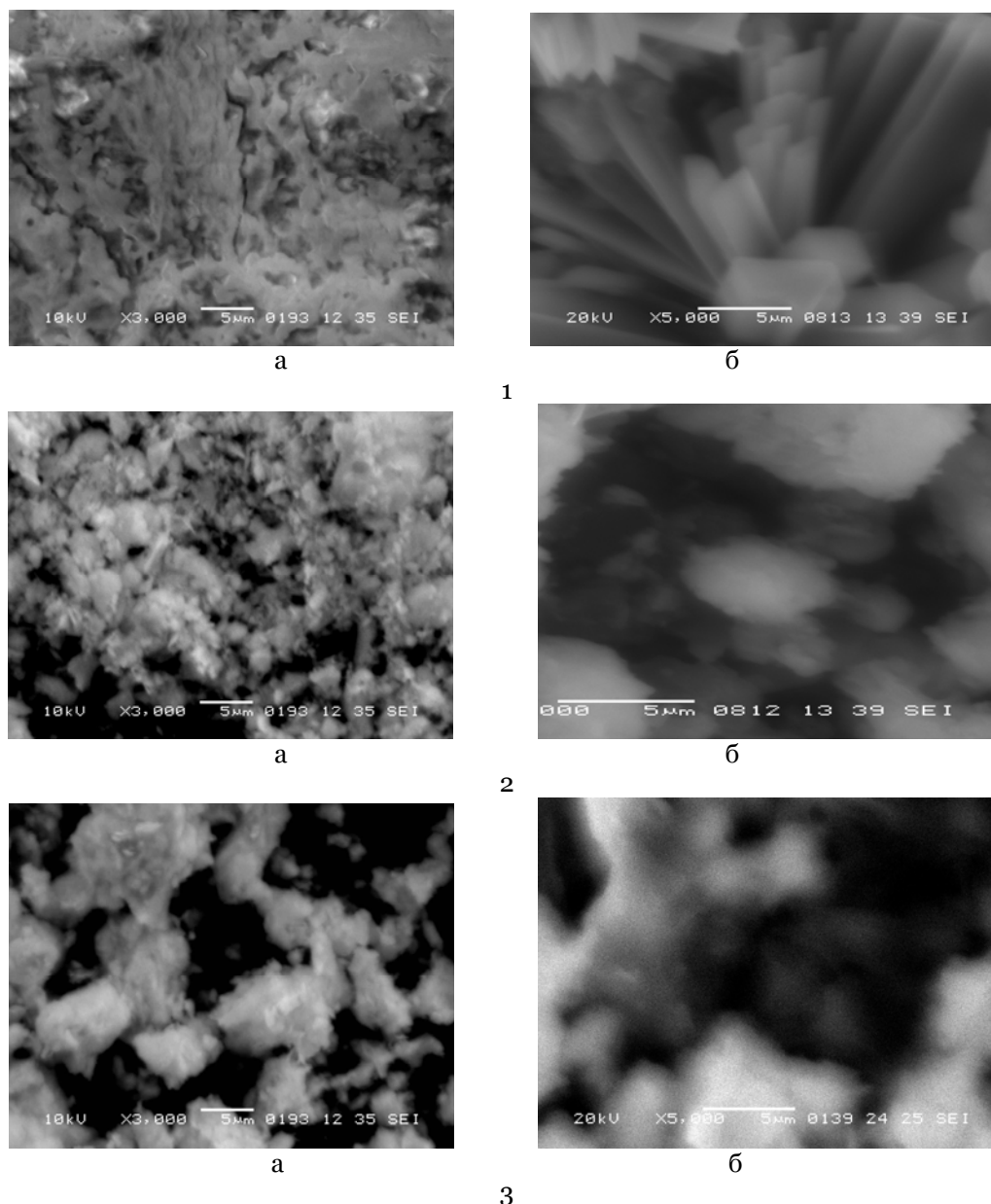


Рис. 3. Фотографии поверхности образцов: 1 –  $M_{95}$ , 2 –  $K_{95}$ , 3 –  $M_{45}K_{20}$ ; а) природный; б) модифицированный серной кислотой

Зависимость величины адсорбции формальдегида на природном и модифицированных ПМС и ПЭС минералах, на примере  $M_{45}K_{20}$ , от равновесной концентрации в растворе представлены на рис. 4.

Модификация образца алюмосиликата органосилоксанами способствует возрастанию максимальной сорбции формальдегида на 15-20%.

При замене в органосилоксане метильной группы на этильную плотность прививки уменьшается, что обусловлено стерическими затруднениями. Вследствие стерической несовместимости этильных групп силоксановые цепи этилсилоксанов раздвигаются на большее расстояние, чем в метилсилоксанах (более значительное препятствие плотной упаковке цепей оказывает  $C_2H_5$ -группа). С уменьшением плотности прививки модификатора сорбция формальдегида более существенно возрастает на минерале, модифицированном полиэтилорганосилоксаном.

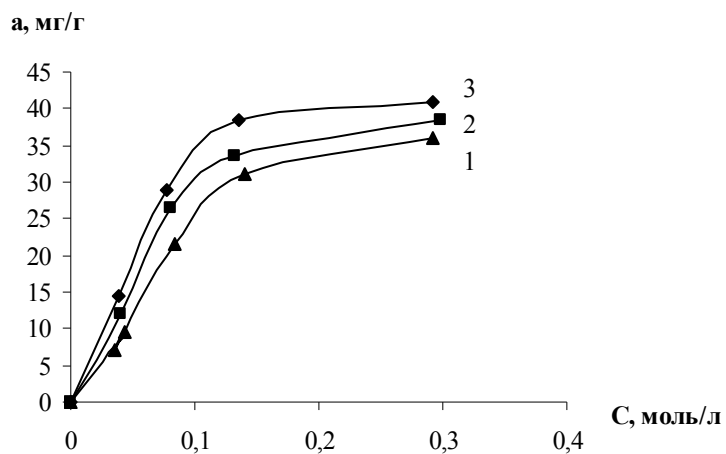


Рис.4. Изотермы адсорбции формальдегида на природном  $M_{45}K_{20}$  (1); модифицированном ПМС (2); модифицированном ПЭС (3)

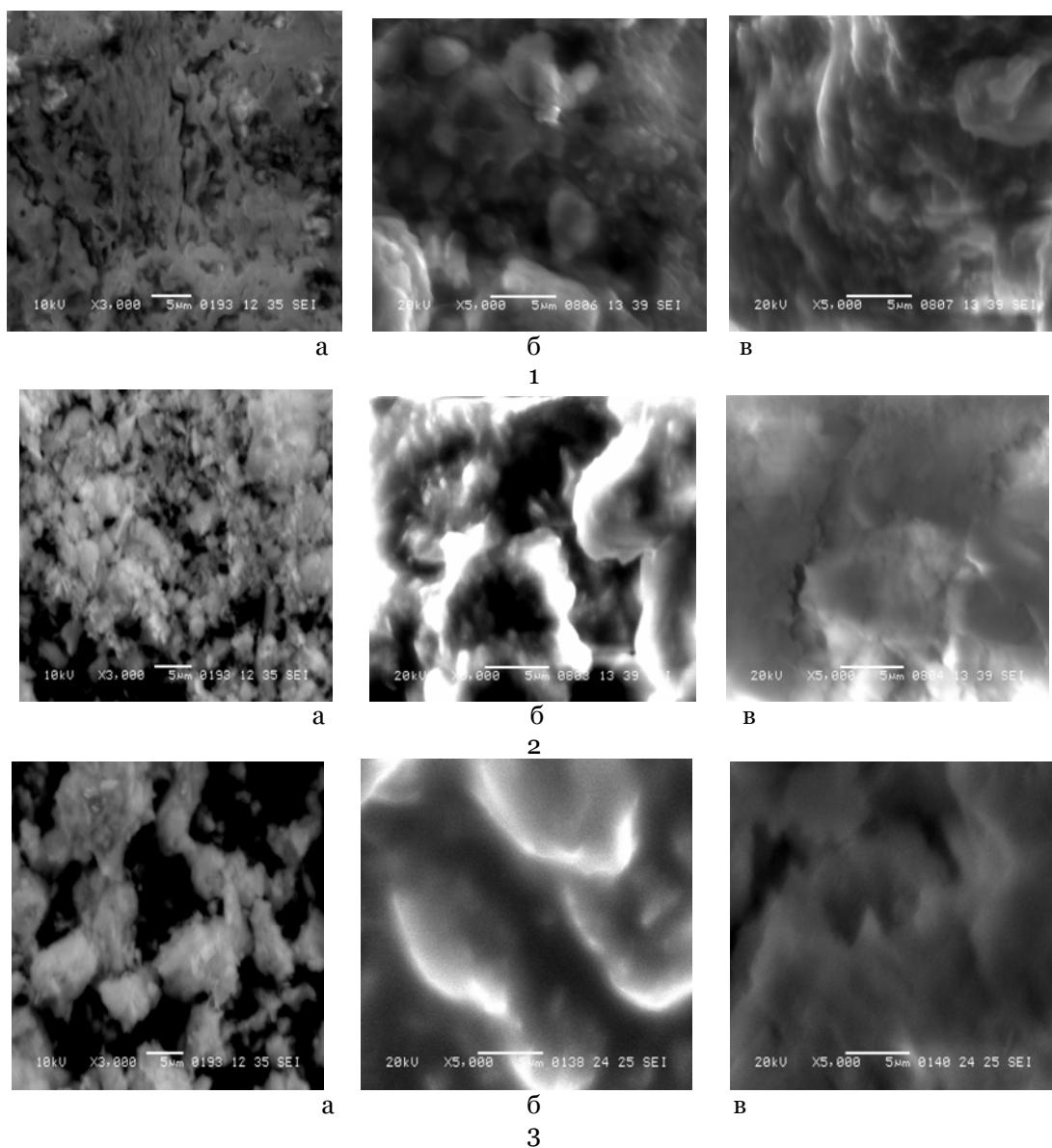


Рис.5. Фотографии поверхности образцов: 1 –  $M_{95}$ , 2 –  $K_{95}$ , 3 –  $M_{45}K_{20}$ ; а) природный; б) модифицированный ПМС; в) модифицированный ПЭС



Изменение морфологии поверхности сорбентов (рис. 5) свидетельствует об изменении структуры сорбентов в результате модификации органосилоксанами, заключающемся в уменьшении дисперсности образцов за счет укрупнения частиц и гидрофобизации поверхности [5].

### Заключение

На основании полученных адсорбционно-структурных характеристик установлено преимущество структуры и химического состава природного клиноптилолита при адсорбции формальдегида из водной среды, он имеет больший суммарный объем пор и обладает более значительной полной обменной емкостью.

Поглощение формальдегида из жидкой фазы усиливается при сернокислотной активации сорбентов, в результате которой происходит качественное изменение катионообменного комплекса за счет перехода минералов в водородную форму, сопровождающееся увеличением размеров пор образцов.

Образование однородной гидрофобизированной поверхности при модификации природных минералов растворами органосилоксанов приводит к избирательной адсорбции формальдегида в системе формальдегид – вода.

### Список литературы

1. Бельчинская Л.И. Природозащитные технологии обезвреживания и утилизации отходов мебельных производств. – Воронеж: Воронеж. гос. лесотехн. акад., 2002. – 210 с.
2. Тарасевич Ю.И. Природные сорбенты в процессе очистки воды. – Киев: Наук. думка, 1981. – 207 с.
3. Экспериментальные методы в адсорбции и молекулярной хроматографии / Под ред. А.В. Киселева и В.П. Древинга. – М.: Изд-во МГУ, 1973. – 447 с.
4. Вяхирев Д.А., Шушунова А.Ф. Руководство по газовой хроматографии. – М.: Высш. шк., 1987. – 335 с.
5. Бельчинская Л.И., Стрельникова О.Ю., Новикова Л.А., Реснер Ф., Воищева О.В. Повышение адсорбционной селективности нанопористого клиноптилолита при гидрофобизации органосилоксанами // Физикохимия поверхности и защита материалов. – 2008. – Т. 44. – № 4. – С. 419–422.

## ADSORPTION OF FORMALDEHYDE FROM AQUEOUS SOLUTION ON NATURAL AND MODIFIED MINERAL SORBENTS

**O.Yu. Strelnikova**  
**L.I. Belchinskaya**  
**N.A. Khodosova**

*Voronezh State Academy of Forestry  
Engineering  
Timirjazeva St. 8,  
Voronezh, 394613, Russia  
E-mail: chem@vglta.vrn.ru*

Density, porosity, total pore volume and the exchange capacity of mineral sorbents with clinoptilolite and montmorillonite structural components were determined. The changes of surface morphology of sorbents were investigated. Sorption of formaldehyde from aqueous solution on natural and modified with sulfuric acid, polymethylorganosiloxane and polyethylorganosiloxane aluminosilicates was studied. The increase in the adsorption of formaldehyde from aqueous solution on modified samples was found. It was shown that for the adsorption of formaldehyde from an aqueous environment, the most effective is the use of the acid activation of sorbents. The increase of adsorption of formaldehyde from a water solution on a surface adsorbents of the modified organosiloxane occurs due to the selective interaction of homogeneous hydrophobic surface with molecules of formaldehyde.

Key words: clinoptilolite, montmorillonite, formaldehyde, modification, adsorption.



## НАУКИ О ЗЕМЛЕ

УДК 551.24

### СИСТЕМНАЯ ГЕОТЕКТОНИЧЕСКАЯ КОНЦЕПЦИЯ: ОСНОВЫ ФОРМИРОВАНИЯ И ГЛАВНЫЕ ВЫВОДЫ

**С.Я. Сергин**

*Российский государственный гидрометеорологический университет, Туапсинский филиал, Россия, 352800, г. Туапсе, ул. Морская, 4  
E-mail: s.sergin@bk.ru*

Представлены обоснования выделения глобальной геологической системы и построения системной геотектонической концепции. Рассматриваются механизмы формирования континентальной и океанической литосферы, причины геосинклинально-орогенных и глобальных геологических циклов, возникновение и направленность геоэволюции.

Ключевые слова: геологическая система, геотектоническая концепция, происхождение литосферы, геологические циклы, геологическая эволюция.

#### Введение

Существующие знания о составе, структуре и развитии тектоносферы являются крупным достижением геотектоники. При всём том, остаётся открытой проблема причин геологической эволюции и закономерного строения тектоносферы. Об этом свидетельствует критика имеющихся и появление новых геотектонических концепций.

Общий недостаток гипотез плейт-тектоники, плюм-тектоники, сжатия (контракции) Земли, её расширения, пульсаций её объема, базификации земной коры и других подобных идей заключается в недоказанности геодинамических механизмов, положенных в их основу. Преумножение таких концепций вряд ли приблизит нас к построению теории геоэволюции. Назрела необходимость изменить методологию решения проблемы и сосредоточить внимание на геотектонической роли реально действующих процессов эндо- и экзодинамики, во всей сложности связей между ними. Такая постановка задачи является типичной для системного подхода. При всей трудности задачи, её решение может привести к результатам, заслуживающим доверия.

Системное рассмотрение причин геоэволюции проводится в работах [1-5]. Обосновывается существование глобальной геологической системы (ГГС), формируется системная геотектоническая концепция, выявляются объяснительные и прогностические её возможности, определяются способы её проверки. В данной статье впервые сжато аргументируются главные положения системной концепции.

#### Выделение глобальной геологической системы

Все собственно геологические структуры и процессы приурочены к перисфере Земли, которая включает астеносферу, литосферу, гидросферу, атмосферу и биоту. Геологические знания дают основания полагать, что перисфера представляет собой не пассивную среду протекания геологической эволюции, а геосистему (ГГС), формирующую этот процесс. Это предположение соответствует действительности, если перисфера обладает свойствами динамической системы: 1) взаимодействием компонентов; 2) относительной обособленностью от внешней среды по зонам ослабленных связей; 3) наличием источников энергии. Рассмотрим этот вопрос.

Если ГГС существует, то принадлежность к ней литосферы очевидна. Астеносфера функционально связана с литосферой: базитовые выплавки из неё поднимаются по глубинным разломам и наращивают литосферу; перетоки вещества в астеносфере восстанавливают глобальное литостатическое равновесие. Эти оболочки, в их единстве, получили название "тектоносфера". Пониженная вязкость астеносферы, как отмечает М.Е. Артемьев [6], обеспечивает значительную автономность процессам, протекающим в литосфере (по отношению к подастеносферной мантии). Стало быть, нижняя граница тектоносферы и ГГС соответствует подошве астеносферы.

С другой стороны, гидросфера, атмосфера и биота, взаимодействуя с литосферой, обуславливают экзогенные геологические процессы и участвуют в геоэволюции. Через литосферу они связаны с астеносферой, поскольку механизм изостатической компенсации реагирует на разрушение гор и осадконакопление, появление и стаивание ледниковых покровов. Следовательно, гидросфера, атмосфера и биота - компоненты ГГС, а верхняя граница системы приурочена к верхней атмосфере.

В целом, компоненты перисферы взаимосвязаны и относительно обособлены от глубоких недр и космического окружения. Как показано ниже, по ресурсам энергии эта комплексная оболочка почти эквивалентна Земле. Она обладает всеми признаками динамической системы и названа "ГГС". Подобно биосфере, эта геосистема не включает внутреннюю область планеты (рис. 1). При глубинах нижней границы астеносферы 200 - 400 км масса ГГС не превышает 10% массы Земли.

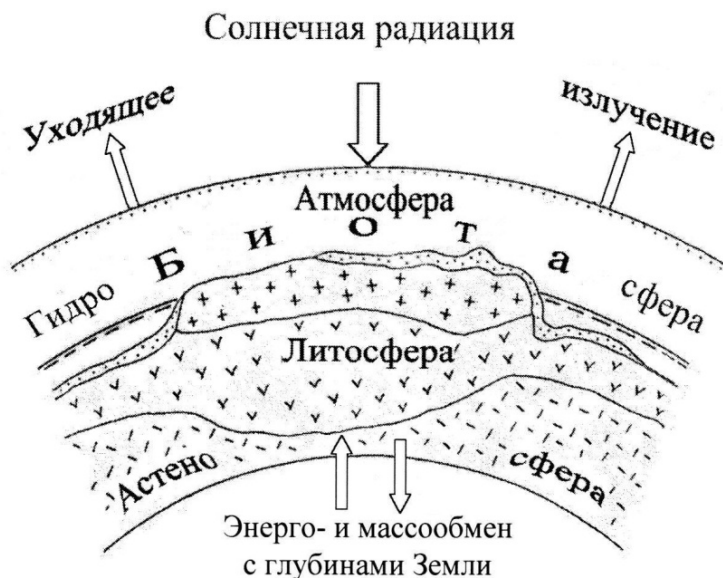


Рис.1. Компонентная схема глобальной геологической системы (ГГС) по [2]. (Не показаны льды и массообмен с Космосом)

В исследованиях докембрия установлено, что ещё в архее существовала система литосфера – гидросфера – атмосфера – биота, где происходило осадконакопление, подобное современному [7, 8]. Существовала и астеносфера, о чем свидетельствует широкое распространение основных эффузивов. Следовательно, ГГС возникла в начале геологического этапа развития Земли.

В соответствии со своей компонентной структурой, ГГС обладает следующими источниками энергии:

- 1) теплогенерация в пределах литосферы и астеносферы ( $q_1$ );
- 2) приток тепла через нижнюю границу системы ( $q_2$ );
- 3) приток солнечной энергии через верхнюю границу системы ( $I$ ).

Если  $q_1$  и  $q_2$  представить в виде восходящих потоков тепла, то в стационарных термических условиях  $q_1 + q_2 = q_n$ , где  $q_n$  – тепловой поток на поверхности литосферы. По общепринятым представлениям, в геологической истории источниками энергии тектогенеза (и  $q_n$ ) могли быть остаточное тепло аккреции Земли, гравитационная дифференциация вещества планеты, физико-химические реакции в ее недрах, приливные деформации Земли и распад радиоактивных элементов. В.Е. Хаин и М.Г. Ломизе [9] отмечают, что относительно строгой оценке поддаётся лишь радиогенное тепловыделение, а роль остальных факторов весьма неопределенна. Подобное мнение высказывают многие специалисты, причем, имеются доводы, согласно которым все источники энергии, кроме радиогенного, были активны только на догеологическом и

раннем геологическом этапах развития планеты. Современные значения  $q_{\text{п}}$  и вертикальное распределение температуры в Земле удовлетворительно описываются моделями, в которых учитывается только радиогенный источник тепла [10, 11]. В соответствии с тепловой моделью Земли, предложенной Ф. Стейси [10], тектоносферная составляющая этого источника обеспечивает тепловой поток  $q_1 = 0.05 \text{ Вт/м}^2$ , а нижележащая часть мантии и ядро - тепловой поток  $q_2 = 0.01 \text{ Вт/м}^2$ .

Источником энергии для ГГС и системы Земля со стороны Космоса является солнечная радиация (инсоляция). Средняя плотность ее потока на внешней границе атмосферы (I) составляет  $340 \text{ Вт/м}^2$  [12]. Доля инсоляции, поглощаемая поверхностью Земли, такова:  $I_{\text{п}} = I(1 - A) = 240 \text{ Вт/м}^2$ , где A - планетарное альbedo, равное приблизительно 0.3. Поглощенная радиация затрачивается на климатообразование и функционирование биосферы, в том числе на экзогенные геологические процессы. После всех преобразований она почти полностью теряется в виде уходящего излучения Земли (рис. 1). Малой добавкой к последнему является  $q_{\text{п}}$ . Тем самым поддерживается сравнительно устойчивый термический режим планеты.

Данные об источниках энергии ГГС и, для сравнения, системы Земля, представим в виде притоков тепла к поверхности планеты ( $\text{Вт/м}^2$ ):

	ГГС	Земля
поглощенная солнечная радиация	240	240
собственное радиогенное тепловыделение	0.05	0.06
приток радиогенного тепла из глубин Земли	0.01	-

Практически все доступные для геоэволюции энергоресурсы Земли сконцентрированы в ГГС. При этом инсоляционный источник энергии обеспечивает наиболее масштабные (по массообмену) геологические процессы: глобальную денудацию, осадконакопление и образование осадочных пород. Мы приходим к выводу об энергетической самодостаточности ГГС. Это касается всего геологического этапа развития Земли: согласно [13], на его протяжении светимость Солнца и радиоактивная теплогенерация в теле планеты не претерпели кардинальных изменений.

В плейт-тектонике, плюм-тектонике и многих других гипотезах не учитывается геодинамическая роль солнечной радиации и экзогенных геологических процессов. Эти гипотезы не могут вскрыть реальные механизмы геоэволюции, даже если бы постулируемые в них геодинамические процессы подтвердились.

Опираясь на факт существования ГГС, системную постановку задачи изучения причин геоэволюции можно отобразить с помощью блок-схемы ГГС (рис 2).

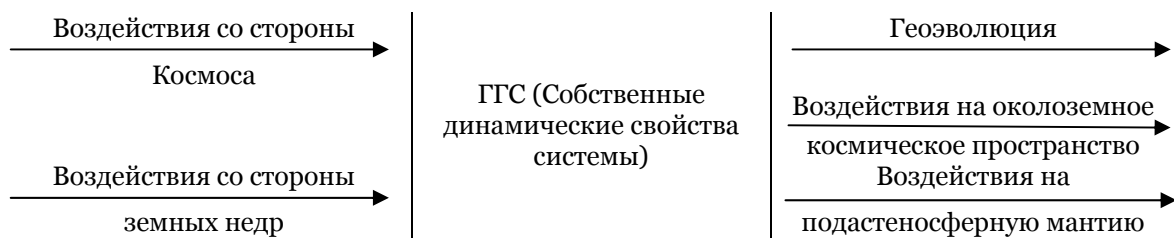


Рис.2. Блок-схема глобальной геологической системы, с её входами и выходами, по [5]

Согласно схеме, в такой постановке задачи имеется возможность учитывать воздействия на ГГС со стороны Космоса и земных недр. Из схемы также следует, что ГГС, подобно другим динамическим системам, воздействует на свою окружающую (вмещающую) среду и изменяет её. Это помогает найти причины различия свойств мантии под материками и океанами, выявленного сейсмической томографией. Причины, можно полагать, – в особенностях функционирования континентальных и океанических областей ГГС [5]. Тем самым главный интерес представляют воздействия на мантию со стороны тектоносферы, а не земного ядра, как полагают сторонники плейт – и плюмтектоники. Что касается ближнего Космоса, то магнитное поле там – это внешняя часть геомагнитного поля, генерируемого в пределах ГГС [5].



### **Функциональная структура глобальной геологической системы**

Динамика и развитие ГГС зависят от её функциональной структуры. Согласно [4, 5], функциональные её блоки – это литосфера и астеносфера, глобальная экологическая система (ГЭС), глобальная климатообразующая система (ГКС), ансамбль геосинклинально – орогенных систем (ГОС), ансамбль разломно – магматических систем (РМС). Они охвачены взаимными и обратными связями (рис. 3).

Следуя учению о биосфере В.И. Вернадского и его последователей, ГЭС включает верхнюю (преимущественно осадочную) зону литосферы, гидросферу, различные льды, атмосферу и биоту. Для геодинамики и геоэволюции существенны такие процессы в ГЭС, как изменения состава атмосферы, денудация и седиментация, биогеохимическая аккумуляция солнечной энергии в осадочных отложениях.

ГКС почти совпадает с ГЭС по компонентной структуре и занимаемому пространству, но обладает функциональной самостоятельностью, ибо те или иные климатические условия формируются на планетах и в отсутствие биоты. С динамикой ГКС связаны экзогенные геологические процессы, а также изменения климатических условий, материкового и морского оледенения, уровня океана и температуры океанических вод, термического состояния литосферы.

ГЭС и ГКС образуют биосферную область ГГС. Она заходит в пределы литосферы, но этот факт не удаётся отобразить на функциональной схеме.

Геосинклинально-орогенные системы (ГОС) – это участки тектоносферы, где протекают циклы следующего содержания: аккумуляция осадочных и эффузивных отложений – последующая реализация геохимической энергии осадочных пород, региональный метаморфизм, гранитоидный магматизм и орогенез [4,5]. Глобальный ансамбль этих систем распределён по геосинклинально-орогенным областям и поясам. В их пределах происходит формирование континентальной коры.

Разломно-магматические системы (РМС) – это участки тектоносферы, где при появлении разломов возникает следующий цикл: выплавление магмы из астеносферы и возникновение базальтовых покровов – компенсационное оседание литосферы, новое разломообразование и магматизм [4,5]. Исходная региональная причина появления разломов – охлаждение земной коры орогенов и молодых платформ, а глобальная – понижение температуры литосферы в холодные геологические периоды.

Литосфера и астеносфера, вместе с ансамблями ГОС и РМС, образуют тектоносферную область ГГС. Она функционально объединена с биосферной областью системы. На схеме видно, что параметры литосферы (ПЛ) и астеносферы (ПА) – их состав, строение, температура и другие характеристики – это результат корпоративных биосферно-тектоносферных взаимодействий в ГГС.

Все блоки и связи, представленные на схеме, имеют геологическое содержание и геоэволюционное значение. Вполне объективно, схема не поддаётся ни усечению, ни расширению за счёт оболочек, функционально не входящих в ГГС. Отражая естественную организованность системы, она даёт основу для построения системной геотектонической концепции и математического моделирования ГГС.

### **Геологический круговорот вещества и формирование континентов**

Системные геотектонические воззрения впервые высказал Джеймс Геттон. По его представлениям, геологическая история – это череда возникновения и разрушения материков [14]. В качестве геодинамического механизма он принимал геологический круговорот вещества в системе «Земля», обусловленный взаимосвязью экзогенных и эндогенных процессов. Впоследствии знания об этом круговороте (и геохимических циклах) оформились в виде учения, которое получило общее признание. Однако, в геотектонических концепциях круговорот вещества если и рассматривается, то лишь как сопутствующий процесс.

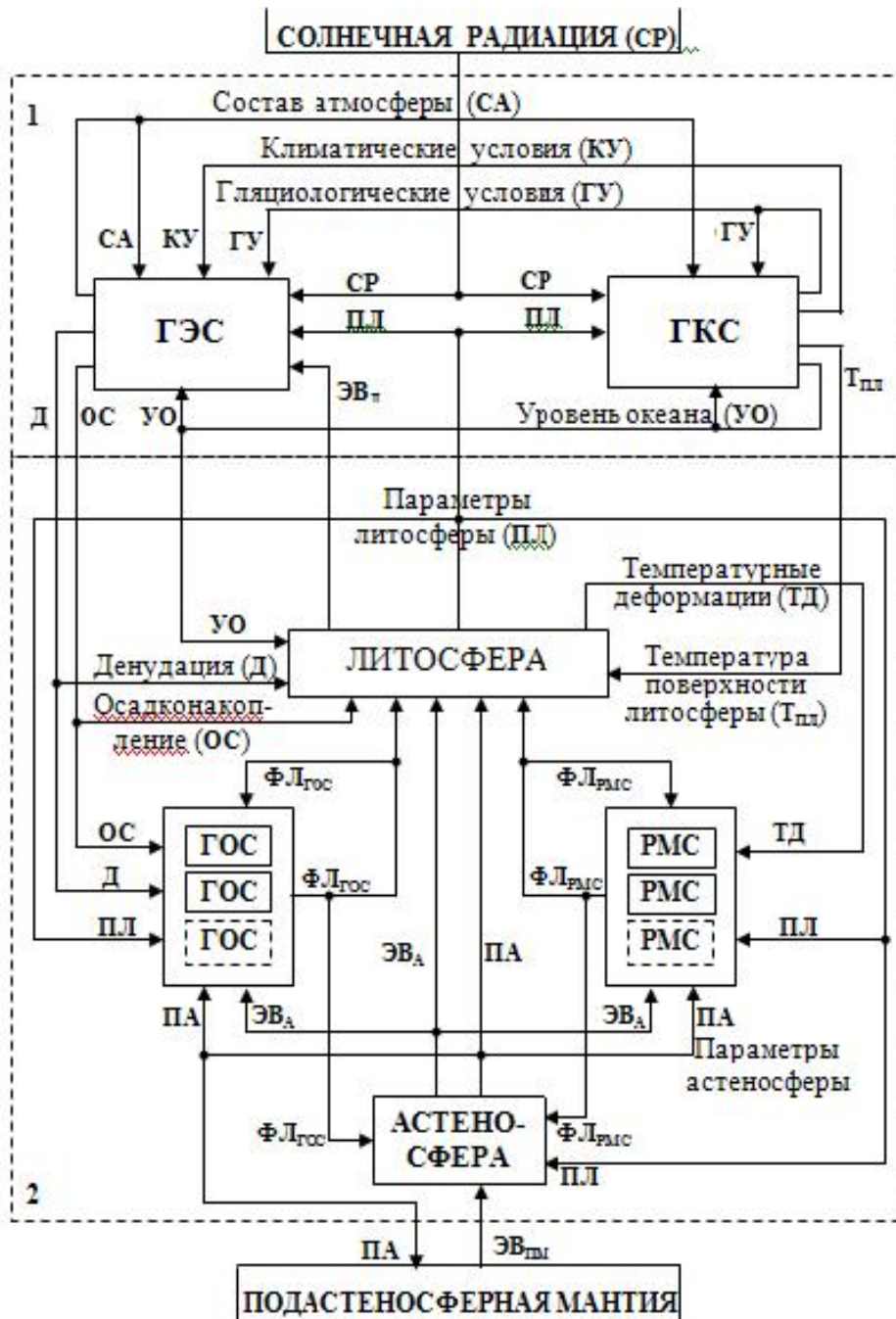


Рис. 3. Функциональная схема ГГС по [4]: 1 – биосферная область; 2 – тектоносферная область; ГЭС – глобальная экологическая система; ГКС – глобальная климатообразующая система; ГОС – геосинклиально-орогенная система; РМС – разломно-магматическая система; ЭВ<sub>л</sub>, ЭВ<sub>а</sub>, ЭВ<sub>пл</sub> – потоки энергии и вещества из литосферы, астеносферы, подастеносферной мантии; ФЛ<sub>гос</sub>, ФЛ<sub>рмс</sub> – формирование литосферы в ГОС и РМС. Стрелками обозначены входы блоков, а линиями, выходящими из блоков, – их выходы. Точками показаны разветвления связей. Некоторые связи не указаны, чтобы не усложнять схему.

Согласно системной концепции, геологический круговорот вещества играет главную роль в формировании материков и делении тектоносферы на континентальные и океанические сегменты. В циклах круговорота задействованы все компоненты и процессы ГГС, особенно ГЭС, ансамбль ГОС и литосфера. Решающее значение имеет следующая связка процессов: денудация горных пород суши - осадконакопление и

геохимическая сепарация вещества – вещественная и энергетическая загрузка геосинклиналией – формирование там новых участков континентальной коры (рис. 4).

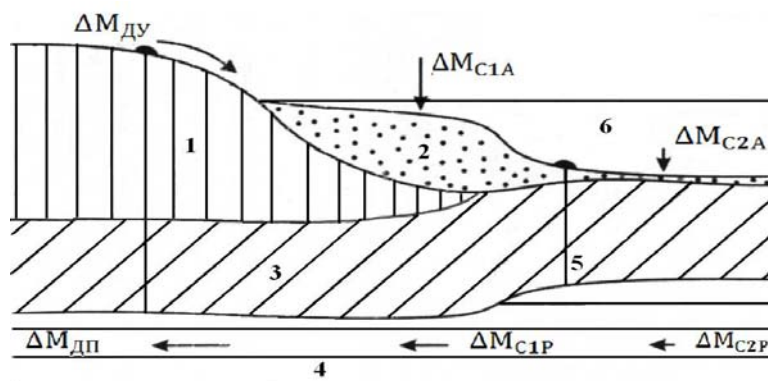


Рис. 4. Схема круговорота вещества и разрастания континентов в переходной зоне континент – океан по [5]; 1 – гранитно-метаморфический и "базальтовый" слой континентальной коры; 2 – осадочные и эффузивно-осадочные отложения; 3 – отложения древней и современной океанической литосферы; 4 – астеносфера; 5 – глубинные разломы и связанный с ними вулканизм; 6 – океан.

На схеме показаны эродируемый ороген и осадочная толща зарождающейся геосинклинали. Убыль корового материала в зоне денудации ( $\Delta M_{ДУ}$ ) сопровождается аккумуляцией осадочного материала в зонах активной и медленной седиментации ( $\Delta M_{С1А}$  и  $\Delta M_{С2А}$ ). По расчётам А.П. Лисицына [15], 92-93% массы осадков, поступающих с суши в океан, остаётся в первой из них, на подводной окраине материков. Компенсационный отток (расход) астеносферного вещества из этих зон ( $\Delta M_{С1Р}$  и  $\Delta M_{С2Р}$ ) влечёт за собой приток вещества к зоне денудации ( $\Delta M_{ДП}$ ). Там астеносферные выплавки поднимаются вверх по разломам, пересекающим ороген.

В соответствии с учением о геосинклиналиях, осадочная толща вовлекается в региональный метаморфизм, гранитоидный магматизм и орогенез [2, 16]. Учитывая циркумконтинентальный характер седиментации ( $\Delta M_{С1А} \gg \Delta M_{С2А}$ ), материка "обрастают" орогеническими областями и поясами. При этом океаническая литосфера надстраивается новообразованной континентальной корой и становится нижним "этажом" континентальной литосферы. Формирование последней, конечно, не могло быть равномерным по периметру материков и во времени. Оно началось на раннем этапе геологической истории – с появлением в первичном океане осадочных отложений, приуроченных к архипелагам вулканических островов [5].

В учении о геосинклиналиях не достигнуто ясного понимания энергетики регионального метаморфизма, гранитоидного магматизма и орогенеза. Этот пробел можно восполнить на основе идеи В.И. Вернадского [17] о том, что солнечная энергия, затраченная на выветривание гипогенных и образование гипергенных минералов, переходит в химическую энергию. Согласно работам В.А. Солла [18], В.И. Лебедева [19] и других геохимиков, обратное превращение гипергенных минералов в гипогенные сопровождается выделением тепла и его расходом на тектоно-магматические процессы. Их выводы получили широкую известность, однако, в условиях доминирования плит-тектоники, остались не востребованными.

В новой проработке этой идеи [2, 5] учитываются три геохимических источника энергии геосинклинальных отложений. 1. Рассеянное (гипергенное) органическое вещество. При нагреве отложений оно вступает в окислительно-восстановительные реакции с кислородсодержащими минералами. Реакции протекают с выделением тепла и летучих ( $CO_2$ ,  $H_2O$  и др.). 2. Гипергенные минералы (преимущественно глинные). При повышенных температурах и давлениях они превращаются в полевые шпаты, слюды и другие минералы кристаллических сланцев и гранитоидов – с выделением тепла и летучих. 3. Радиоактивные элементы. Как известно, они аккумулируются в

осадках, особенно глинах, с участием биогеохимических процессов. Тем самым в геосинклинальных толщах обеспечивается повышенное радиогенное тепловыделение.

Проведены расчёты теплового баланса геосинклинальной осадочной толщи на инверсионной (главной орогенной) стадии геосинклинально-орогенного цикла [5]. Учитывались геохимические источники энергии, приток глубинного тепла через подошву толщи, сток тепла через её кровлю, затраты тепла на нагрев и частичное плавление пород толщи, затраты энергии на горообразование. Мощность осадочной толщи варьировалась от 10 до 20 км, а продолжительность инверсионной стадии – от 0.1 до 20 млн. лет. Нормативными проявлениями инверсии принимались: повышение температуры толщи с 200 до 600°C, плавление (превращение в гранитоидную магму) 20% её массы, разуплотнение толщи на 25% (вызывающее орогенез), увеличение теплового потока через её кровлю с 0.045 до 0.09 Вт/м<sup>2</sup>. Оказалось, что нормативное, более и менее интенсивное проявление инверсии реализуется при различных вариантах исходных условий. Главное значение для неё имеет геохимическая энергия осадочных отложений. Таким образом, эмпирическое учение о геосинклиналях дополнилось теоретическим объяснением энергетики орогенных стадий геосинклинально-орогенных циклов. Природа циклов сводится к накоплению в геосинклиналях осадочных отложений и последующему выделению их геохимической энергии, вызывающему региональный метаморфизм, гранитоидный магматизм и орогенез.

В ходе геологического круговорота вещества происходит сепарация элементов, которую Г.В. Войткевич [20] охарактеризовал следующим образом: «Чрезвычайно длительный круговорот воды промывал растущую континентальную кору, удаляя из нее навсегда некоторые наиболее растворимые симатические (базальтовые) элементы ( $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Fe^{2+}$ ) и сохраняя относительно малоподвижные компоненты типа  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ , тем самым способствуя её сиализации в целом» (с.164). Этот процесс является причиной преобладания в породах гранитно-метаморфического слоя минералов сравнительно небольшой плотности. Он оказывает влияние и на «базальтовый» слой континентальной коры, содержащий метаморфизованные осадочные породы.

Результирующая пониженная плотность континентальной литосферы обеспечивает более высокое её положение по сравнению с океанической. Это является необходимым условием глобальной денудации и осадочной дифференциации (экзогенной сепарации) вещества в биосфере. Тем самым перепад высот поверхности континентальной и океанической литосферы, будучи следствием сепарации осадочного материала, одновременно является причиной, поддерживающей её (рис. 5).

Согласно схеме, геологический круговорот вещества протекает по принципу положительной обратной связи. Он обуславливает вещественную и гипсометрическую специфику континентальной литосферы. Этот процесс реализуется с участием геосинклинально-орогенных систем.

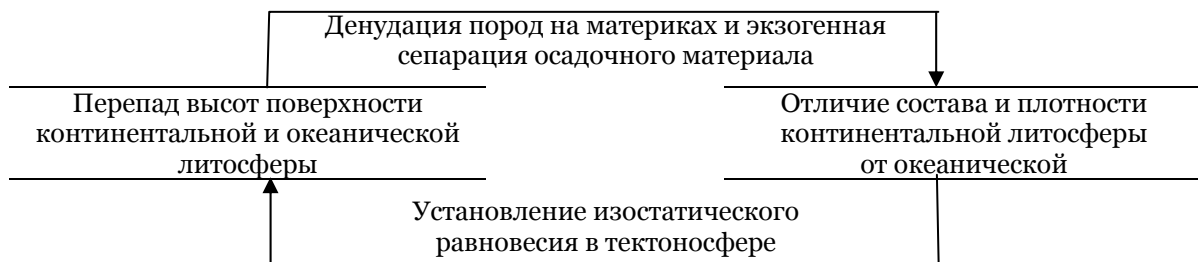


Рис.5.Схема вещественной и высотной дифференциации литосферы в ходе геологического круговорота вещества [5].

### Возникновение и развитие океанической литосферы

В системной концепции вопрос о формировании океанической литосферы рассматривается в связи с вопросом о возникновении океана. Имеются аргументы, которые придают представлению о раннем появлении гидросферы более конкретный



смысл: в начале геологического этапа вся Земля была покрыта океаном с характерными глубинами, как у современного океана [5].

Изостатическое равновесие континентальных и океанических платформ ( $\rho_{\text{кп}} H_{\text{кп}} = \rho_{\text{оп}} H_{\text{оп}} + \rho_{\text{в}} h_{\text{в}}$ ) поддерживается при участии океанских вод (здесь  $H_{\text{кп}}$  и  $H_{\text{оп}}$  – глубина уровня компенсации под континентальными и океаническими платформами;  $\rho_{\text{кп}}$  и  $\rho_{\text{оп}}$  – средняя плотность материала в толще от поверхности платформ до уровня компенсации;  $\rho_{\text{в}}$  и  $h_{\text{в}}$  – плотность и толщина водного столба). Учитывая это, равные высоты древнейших и молодых участков континентальных платформ свидетельствуют о постоянстве глубины океана в ходе геологической истории. Если бы в раннем архее не было глубокого океана, то древнейшие участки континентальной коры возникли бы на относительно низких отметках. С повышением уровня океана они оказались бы под молодыми отложениями. Кроме того, в случае постепенного образования океана его ложе загружалось бы терригенным материалом. Не возникли бы ни коренные отличия континентальной коры от океанической, ни ясные границы океанского ложа.

Имеется и космогонический аргумент. В протоземном облаке преобладал водород и присутствовали частицы с различными оксидами, в том числе железа. В ходе сжатия облака, в условиях высоких температур, происходило восстановление железа водородом и образование молекул воды. Удаление из зоны реакции железа (к ядру Проземли) и воды (к её периферии) поддерживало реакцию. По завершении формирования плотных оболочек планеты образование воды прекратилось. Вся её масса оказалась на поверхности и превратилась в океан.

Исходным условием образования океанической литосферы следует считать наличие первичной земной коры, покрытой океаном. В последующих событиях основное значение имели разломно-магматические системы (РМС), возникавшие следующим образом: охлаждение литосферы – появление в ней горизонтальных напряжений растяжения и сети вертикальных разрывов (разломов) – выплавление магмы из астеносферы [5]. При этом дно океана выстилалось вулканитами. Позднее главное значение для образования глобальной сети РМС приобрело охлаждение литосферы в ледниковые периоды. Первый из них датируется поздним археем или ранним протерозоем [21]. Далее они повторялись, обуславливая чередование тёплых климатических периодов с холодными. В этом чередовании температура глубинных вод и дна океана изменяется (колеблется) с размахом 10 - 15°C. В соответствии с решением уравнения теплопроводности, колебания температуры проникают в литосферу на глубину в десятки километров. При переходе от тёплого периода к холодному в литосфере возникают температурные напряжения, достаточные для образования сети разломов [2, 5]. Далее реализуется следующий механизм развития РМС: декомпрессионное выплавление магмы и её излияние в виде покровов – оседание окаймляющих блоков литосферы с появлением новых разломов (рис. 6).

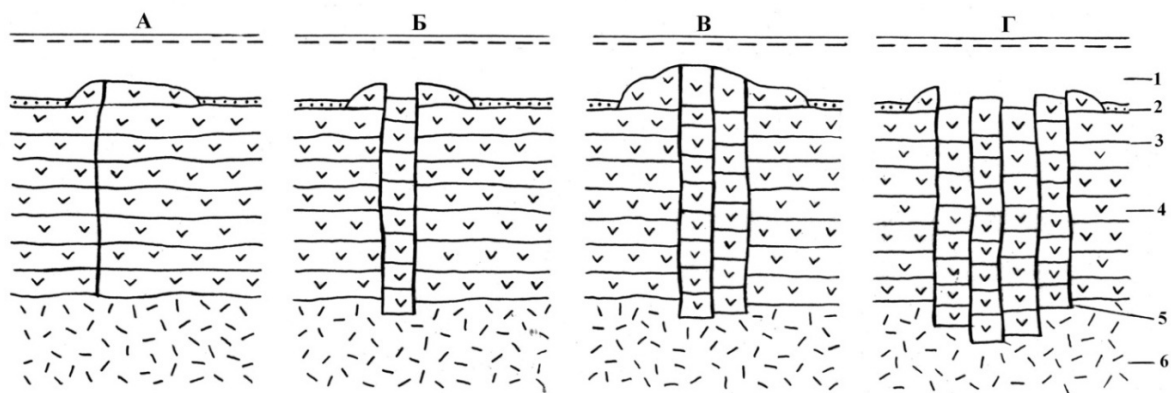


Рис. 6. Схема возникновения и развития разломно-магматической системы (РМС) на дне океана по [4]: А – исходный разлом и эффузивный магматизм; Б – компенсационное оседание литосферного блока; В, Г – дальнейшее развитие РМС; 1 – океан; 2 – осадочные отложения, 3 – метаморфизованные осадочные отложения, 4 – базиты, 5 – разломы, 6 – астеносфера



В холодные периоды, подобные верхнекайнозойскому, океаническая литосфера покрывается сетью РМС и чехлом вулканитов. В зонах активного проявления разломно-магматического процесса и разуплотнения литосферы возникают срединно-океанические поднятия (хребты). В чреде климатических циклов литосфера утолщается и приобретает сложную разломно-блоковую линзово-слоистую структуру (рис. 7).

Таким образом, океаническая литосфера формировалась при взаимодействии биосферной и тектоносферной областей ГГС. Она генетически единообразна по вертикали. Древнейшие её слои ассимилировались астеносферой и выпадали из геологической летописи. При этом имела место рециркуляция вещества, ввиду чего геохимическое влияние «былых биосфер» достигает астеносферы [4, 5].

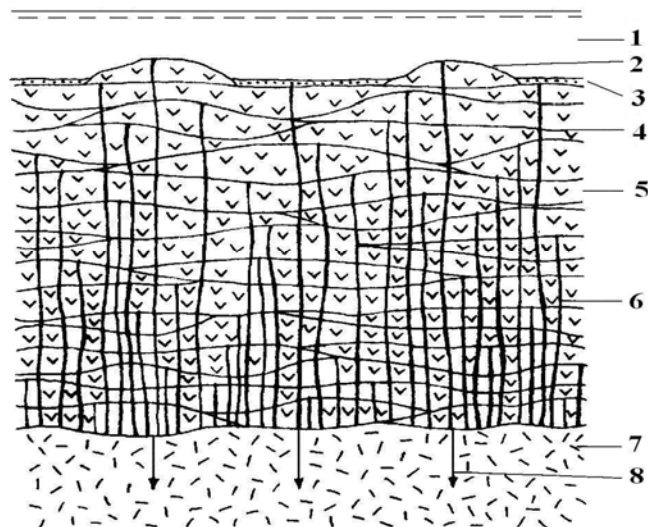


Рис. 7. Схема формирования океанической литосферы: выплавление магмы из астеносферы - наращивание литосферы вулканитами - компенсационное ее оседание (по [4]); 1 - океан; 2 - молодые вулканиты; 3 - осадочные отложения; 4 - метаморфизованные осадочные отложения; 5 - относительно древние базиты; 6 - дайки в полостях разломов; 7 - астеносфера; 8 - оседание литосферы

В тёплые периоды происходит температурное расширение материала литосферы. В ней возникают горизонтальные напряжения сжатия. Ансамбль РМС отмирает, а геосинклинали испытывают боковое сжатие, стимулирующее начало инверсионной стадии. Такова природа эпох растяжения и сжатия земной коры, большое внимание которым уделяют Е.Е. Милановский [22] и Г.М. Власов [23]. Эти события усложняются, особенно на континентах, короткопериодными климатическими циклами и термо-тектоническими явлениями в геосинклинально-орогенных областях [2].

### Природа циклической и поступательной геологической эволюции

Известное по эмпирическим данным чередование тёплых и холодных периодов объясняется в системной концепции автоколебаниями в ГГС - генерированием в ней глобальных геологических (в том числе климатических) циклов [1-5]. Такой динамический режим возник в достаточно зрелом состоянии ГГС, при значительных размерах материков и наличии климатических возможностей появления ледников. Рассмотрим механизм автоколебаний.

В качестве исходных примем условия тёплого геологического периода, когда материки в большой мере покрыты мелководными морями, почти все горные поднятия сnivelированы, а геосинклинали загружены осадками. В геосинклиналях начинается горообразование, связанное с выделением геохимической энергии отложений. В случае активного орогенеза, особенно в высоких и средних широтах, появляется обширное горное оледенение, переходящее в материковое (вследствие саморазвития ледников). Сопутствующее понижение уровня океана сопровождается морскими регрессиями, что способствует экспансии ледниковых покровов. На земном шаре устанавливается холодный геократический период. В литосфере, особенно океанической, закладывается сеть разломов и разломно-магматических систем.



В случае слабого орогенеза возникает небольшое похолодание. Однако, в ходе разрушения гор геосинклинали получают вещественную и энергетическую подпитку. В их ансамбле возрастает вероятность обширного орогенеза. После нескольких повторов неизбежно происходит горообразование, достаточное для возникновения холодного периода. Таким же образом возник первый ледниковый период [5].

В холодный период активны процессы денудации горных поднятий и морского осадконакопления. Повышается уровень океана и сокращается площадь суши. К её уменьшению ведёт также охлаждение и оседание земной коры орогенов. Начинается дегляциация, вызывающая дальнейшее повышение уровня океана и потепление климата. После стаивания ледников устанавливается новый тёплый период.

Некоторая разновременность орогенных событий в ансамбле геосинклинально-орогенных систем (ГОС) может затянуть холодный период. Однако, в условиях сноса поднятий завершение дегляциации и геологического цикла неизбежны.

Мы приходим к выводу, что для возникновения в ГГС геологических циклов не требуются внешние воздействия. Их причиной является корпоративное биосферно-тектоническое взаимодействие. Продолжительность циклов контролируется главным образом осадконакоплением и орогенезом в ГОС. Наличие ансамбля ГОС расширяет спектр геологических циклов. Так можно объяснить проявление в неогее основной периодичности (150-250 млн. лет) и второстепенных циклов (20-60 млн. лет).

По высказыванию Э. Ога "...геологическая история нашей планеты есть не что иное, как история следующих друг за другом циклов" ([16] с. 21). В самом деле, с геосинклинально-орогенными и глобальными геологическими циклами связаны главные события в развитии Земли. Важно и то, что в ходе каждого цикла происходят необратимые изменения перисферы. Вследствие этого циклическая динамика ГГС обуславливает и поступательную геоэволюцию: утолщение океанической литосферы, разрастание континентов, похолодание климата, усложнение биосферы и т. д. [2, 5].

Геоэволюция началась на Земле, покрытой океаном. Первичная кора и мантия вряд ли характеризовались равномерным распределением состава и плотности. На участках пониженной их плотности дно океана было приподнятым, там изливались астеносферные выплавки сравнительно кислого состава. Эти участки обладали изостатическими преимуществами в формировании высоких вулканических построек. Там возникали архипелаги островов, процессы круговорота вещества, древние гранит-зеленокаменные комплексы. Таким образом зарождались континенты [5]. Их размеры стали важным фактором динамики ГГС и поступательной геоэволюции.

### Заключение

В данном исследовании получены доказательства, что перисфера – это система (ГГС), содержащая эффективные механизмы геоэволюции. В рамках формируемой системной геотектонической концепции удаётся объяснить генезис литосферы, природу геосинклинально-орогенных и глобальных геологических циклов, возникновение и направленность геоэволюции. В то же время, ни в одной из гипотез не имеется убедительных свидетельств геоэволюции вследствие влияния на перисферу внешних воздействий. Отмеченные позиции позволяют сформулировать следующие выводы:

- геологическая эволюция Земли - это проявление динамики и развития ГГС;
- геологический этап истории Земли начался с появлением океана и ГГС;
- в первичной структуре ГГС были астеносфера, исходная земная кора, океан и атмосфера;
- океаническая литосфера – древняя, однородная по составу (вулканыты с просями метаморфизованных осадков), пронизана базитовыми дайками;
- континентальная литосфера включает кору, сформированную, в основном, ансамблем ГОС, и нижний "этаж" в виде ранее возникшей океанической литосферы;
- глобальные геологические циклы обусловлены автоколебательной динамикой ГГС;
- поступательная геоэволюция связана с необратимыми изменениями перисферы в ходе геосинклинально-орогенных и глобальных геологических циклов;

- биосферная область Земли повлияла на состав и строение всех слоёв литосферы, а также верхней части астеносферы, ассимилирующей литосферный материал.

Системная концепция поддаётся проверке. Вывод о древности океанической литосферы можно проверить проходкой скважины (с бурового судна или на атолле), заглублённой во "второй" слой океанической коры на 3-5 км. Она должна вскрыть породы палеозойского возраста. Вывод о возникновении в холодные периоды сети разломов литосферы поддаётся проверке моделированием разломообразования. Этот перечень можно продолжить [4, 5]. Не менее важная задача на будущее – построение математической модели ГТС и модельное воспроизведение геозволюции. При этом откроется возможность корректировки системной концепции и восполнения пробелов в знаниях о перисфере прошлых эпох. В целом, становится понятной перспектива построения теории геозволюции, объединяющей науки о Земле.

### Список литературы

1. Сергин С. Я., Сергин В. Я. Взаимодействие литосферы и климата как одна из возможных причин возникновения геологических циклов // Бюл. МОИП. Отд. геол. - 1987. - Т. 62, Вып. 2. - С. 3-17.
2. Сергин С. Я., Сергин В. Я. Природа глобальных геологических циклов: системный подход. - М.: Наука, 1993. - 123 с.
3. Сергин С.Я. Теоретическая геология: в поисках базиса // Научн. мысль Кавказа. - 1995. - № 4, - С. 27-38.
4. Сергин С.Я. Причины геологического развития Земли: системный подход. - Ростов-на-Дону: Изд - во СКНЦ ВШ, 2002. - 47 с.
5. Сергин С.Я. Системная организация процессов геологического развития Земли. - Белгород: Изд - во БелГУ, 2008. - 360 с.
6. Артемьев М.Е. Современное состояние проблемы изостазии. В кн: Строение и эволюция тектоносферы. - М., ИФЗ АН СССР, 1987. - С. 216-252.
7. Сидоренко С.А. Органическое вещество и биолитогенные процессы в докембрии. - М.: Наука, 1991. - 104 с.
8. Nutman A. P., Friend C.R.L., Bennett V.C. Review of the oldest (4400-3600 Ma) geological and mineralogical record: glimpses of the beginning // Episodes - 2001. - V. 24. № 2. - P. 93-100.
9. Хаин В.Е., Ломизе М.Г. Геотектоника с основами геодинамики. - М.: Изд - во МГУ, 1995. - 480 с.
10. Стейси Ф. Физика Земли. - М.: Мир, 1972. - 342 с.
11. Любимова Е.А., Любошиц В.М., Парфенюк О.И. Численные модели тепловых полей Земли. - М.: Наука, 1983. - 126 с.
12. Матвеев Л.Т. Теория общей циркуляции атмосферы и климата Земли. - Л.: Гидрометеоиздат, 1991. - 295 с.
13. Войткевич Г.В., Бессонов О.А. Химическая эволюция Земли. - М.: Недра, 1986. - 212 с.
14. Oldroyd D. James Hutton's " Theory of the Earth " (1788) // Episodes. - 2000. -V. 23. № 3. - P. 196-2002.
15. Лисицын, А. П. Осадочное тело океана. В кн: Геология дна океана по данным глубоководного бурения. - М.: Наука, 1984. - С. 12-61.
16. Ог Э. Геология. - М. - Л.: ГОНТИ НКТП СССР, 1938. - 560 с.
17. Вернадский В. И. Очерки геохимии. - М.: Наука, 1983. - 422 с.
18. Saull, V. A. Chemical energy and metamorphism // Geochim. et Cosmochim. Acta. - 1955. - V. 8, № 1/2. - P. 86-107.
19. Лебедев, В.И. Основы энергетического анализа геохимических процессов. - Л.: Изд-во ЛГУ, 1957. - 342 с.
20. Войткевич Г.В. Химическая эволюция Солнечной системы. - М.:Наука, 1979.-174 с.
21. Харленд У. Б., Кокс А. В., Ллевеллин П. Г. и др. Шкала геологического времени. - М., Мир, 1985. - 140 с.
22. Милановский Е. Е. Развитие и современное состояние проблем расширения и пульсаций Земли. В кн: Проблемы расширения и пульсаций Земли. - М.: Изд-во МГУ, 1984. - С. 8-24.
23. Власов Г. М. Глубинно-геосинклинальная концепция тектогенеза (на примере древних и молодых гранит-зеленокаменных поясов). – Владивосток: Дальнаука, 2000. - 213 с.



---

## **SYSTEMIC GEOTECTONIC CONCEPTION: BASIS OF FORMATION AND MAIN CONCLUSIONS**

**S.Ya. Sergin**

*Russian State Hydrometeorological  
University, Tuapse Branch  
Morskaja St., 4, Tuapse, 352800, Russia  
E-mail: s.sergin@bk.ru*

The grounds for determination of global geological system (GGS) and construction of systemic geotectonic conception are presented. The mechanisms of continental and oceanic lithosphere formation, causes of geosynclinal-orogenic and global geological cycles, origin and directivity of geological evolution are under consideration.

Key words: geological system, geotectonic conception, lithosphere genesis, geological cycles, geological evolution.

## МЕТОДИКА ГЕОЛОГО-СТРУКТУРНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ОТКРЫТОЙ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЖЕЛЕЗИСТЫХ КВАРЦИТОВ<sup>1</sup>

**В.А. Дунаев**  
**И.М. Игнатенко**

*Белгородский государственный  
национальный  
исследовательский  
университет  
Россия, 308015,  
г. Белгород, ул. Победы, 85  
E-mail: ignat86\_m@mail.ru*

Изложена разработанная авторами и апробированная на горно-обогатительных комбинатах КМА методика геолого-структурного обеспечения горных работ на карьерах, разрабатывающих месторождения железистых кварцитов. Методика предусматривает применение современных технических средств фиксации первичной информации и широкого спектра компьютерных технологий её обработки на базе интегрированного программного комплекса ГИС ГЕОМИКС (ВИОГЕМ).

Ключевые слова: месторождение железистых кварцитов, карьер, горные работы, методика, геолого-структурное обеспечение, компьютерные технологии.

Открытая разработка месторождений полезных ископаемых, представленных массивами скальных пород, требует серьёзного геолого-структурного сопровождения, поскольку во многом от него зависит рентабельность и безопасность горных работ. Для оптимизации параметров наиболее дорогостоящего вида горных работ (буровзрывных) необходимо знание особенностей трещиновато-блочной структуры разрабатываемого породного массива, а для выбора параметров стационарных уступов карьера, гарантирующих их устойчивость, кроме того, ещё требуется детальное изучение проявленной на месторождении складчато-разрывной тектоники.

На сегодня нет общепринятой комплексной методики геолого-структурного обеспечения открытой разработки месторождений, представленных массивами скальных пород. Содержащиеся в инструктивно-методических документах доперестроечного периода методические рекомендации по отдельным аспектам такого обеспечения явно устарели. Кроме того, современные технические средства и информационные технологии позволили существенно усовершенствовать, а в отдельных звеньях принципиально изменить традиционную методику натурального (полевого) изучения геолого-структурных особенностей разрабатываемых месторождений и, особенно, обобщения полевых материалов, подготовки итоговых документов, непосредственно используемых при проектировании буровзрывных работ и постановки уступов карьера на предельный контур.

Предлагаемая методика геолого-структурного обеспечения открытых горных работ при добыче железистых кварцитов (рис. 1) разработана и апробирована в процессе прикладных геолого-структурных исследований, выполненных на карьерах горно-обогатительных комбинатов региона КМА. В основу методики положены следующие принципы:

- комплексность натуральных исследований, ориентированных на получение разносторонней информации, необходимой для обеспечения всех видов горных работ на карьере;
- максимальная безопасность проведения натуральных исследований в карьере за счёт применения дистанционных методов фиксации информации;
- минимизация затрат труда и времени на указанные исследования, достигаемая применением фотогеологической документации уступов карьера;
- полнота и достоверность первичной и синтезированной информации;

<sup>1</sup> Работа выполнена в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы, Государственный контракт ПЗ6 от 30.03.2010 г.

- компьютерная обработка исходной информации с реализацией процедур моделирования и получения необходимых картографических документов, таблиц, графиков и диаграмм;
- минимизация затрат времени на компьютерную обработку информации, достигаемая применением для этого многофункциональной горно-геологической системы ГИС ГЕОМИКС, разработанной институтом ВЮГЕМ.

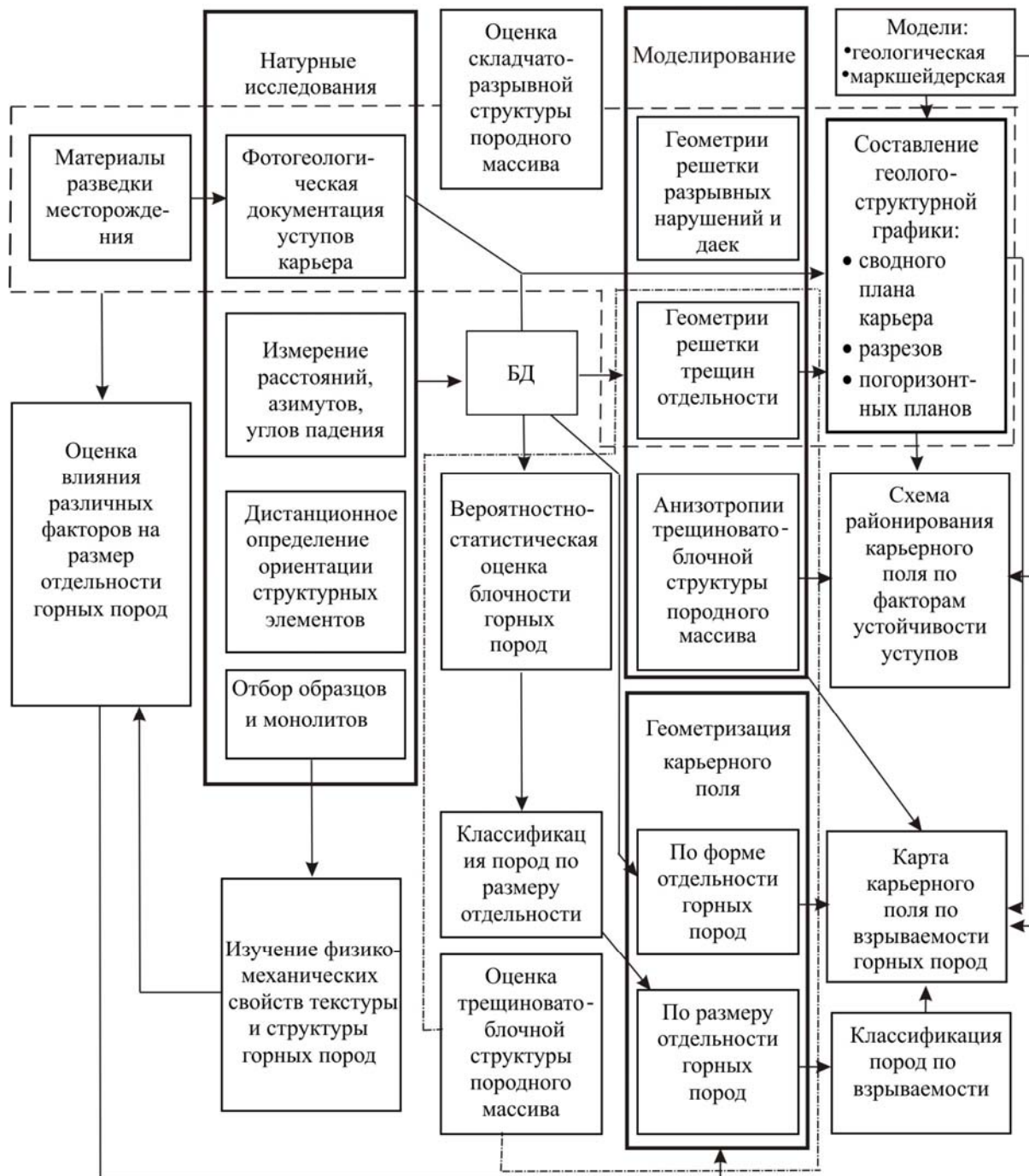


Рис. 1. Принципиальная блок-схема геолого-структурного обеспечения горных работ на карьерах по добыче железистых кварцитов

При разработке методики учитывалась иерархичность структуры породных массивов этих месторождений, проявленная наличием двух её уровней: первого –

складчато-разрывного, второго – трещиновато-блочного. Первый структурный уровень, представлен складчатостью, определяющей характер залегания пород, и сетью разрывных нарушений, расчленяющих массив смятых в складки пород на относительно крупные блоки, линейные размеры которых составляют десятки-сотни метров. Этот структурный уровень определяет главным образом устойчивость породного массива на предельном контуре карьера. Второй структурный уровень проявлен делимостью породного массива мелкими трещинами на элементарные структурные блоки, поперечник которых колеблется от 0.5-1.0 дециметра до 1.5-2.5 м, составляя в среднем 0.35-0.75 м. Трещиновато-блочная структура породного массива является основным фактором, влияющим на его взрываемость, т.е. сопротивление разрушению под воздействием взрыва. Кроме того, она учитывается в расчётах устойчивости бортов карьера через коэффициент структурного ослабления, понижающий значение сцепления горных пород в массиве относительно установленного по данным лабораторных испытаний образцов в зависимости от среднего размера элементарного структурного блока (отдельности). В соответствии с изложенным на схеме (см. рис. 1) пунктирным контуром объединены процедуры, по результатам которых выполняют оценку складчато-разрывной структуры породного массива, а штрих-пунктирным – оценку его трещиновато-блочной структуры.

Мелкая трещиноватость возникла как литогенетическая по завершению процесса складкообразования на этапе перехода породного массива из нагретого пластичного состояния в консолидированное. В дальнейшем под воздействием напряжений последующих этапов тектонической активизации первичная литогенетическая трещиноватость усиливалась, причём неравномерно в объёме породного массива в соответствии с пространственной изменчивостью в нём интенсивности тектонических напряжений. Естественно, участки повышенной мелкой трещиноватости тяготеют к разрывным нарушениям, трассирующим зоны наиболее высокой концентрации тектонических напряжений. Вследствие сказанного на размер отдельности пород, кроме литологического фактора (минерально-петрографического типа пород и присущих ему свойств, в том числе физико-механических), существенное влияние оказывает структурно-тектонический фактор. Кроме того, в приповерхностной зоне породного массива свою лепту вносит гипергенный фактор, обусловленный выветриванием и разгрузкой массива в связи с денудацией перекрывающей его толщи пород. Поэтому предусмотрена оценка влияния различных факторов на размер отдельности горных пород, результаты которой будут использованы при геометризации карьерного поля по этому параметру породного массива (рис. 1).

Натурные (полевые) работы в карьере имеют своей целью получение пространственно привязанной первичной информации (описательной и количественной) путем геолого-структурной помаршрутной съёмки карьера, сопровождаемой отбором образцов горных пород для физико-механических испытаний и петрографо-минералогических исследований. В процессе съёмки геологической документации, обычно в масштабе 1:1000, подвергаются откосы уступов карьера. Каждый маршрут (документируемый интервал по простиранию уступа, ограниченный техногенными препятствиями – съездом, развалом взорванной горной массы, недоступным для изучения по условиям безопасности участком и т.п.) трассируется по нижней бровке уступа пикетами (металлическими колышками с бирками, на которых указано расстояние от начала маршрута), расположенными через 20 м друг от друга. Разбиение трассы маршрута на интервалы указанной длины осуществляется с помощью металлической рулетки. Начало и конец маршрута, а также пикеты через 200-300 м привязываются инструментально.

Фотогеологическая документация уступа начинается с подготовки страниц полевого журнала для каждого 20-метрового интервала маршрута. Основным элементом страницы является масштабированный фотоснимок откоса уступа в заданном интервале (рис. 2). Для получения таких снимков производят фотосъёмку подлежащего документации уступа либо с его бермы (при её ширине не менее 15 м), либо с противоположного борта карьера. Для съёмки необходимы цифровые фотоаппараты с высокой разрешающей способностью и высокоточные объективы, позволяющие получать ка-

ческие снимки на расстоянии до 2 км от точки фотосъёмки. В частности, авторы использовали цифровой зеркальный фотоаппарат Canon EOS 400D и объектив Canon Ultrasonic EF100-400 мм. Съёмка выполняется поинтервально с некоторым перекрытием соседних кадров. Границы интервалов (пикеты) фиксируют двое рабочих установленными вертикально маркшейдерскими рейками. При съёмке с противоположного борта связь между фотографом и рабочими-реечниками осуществляется по радию.

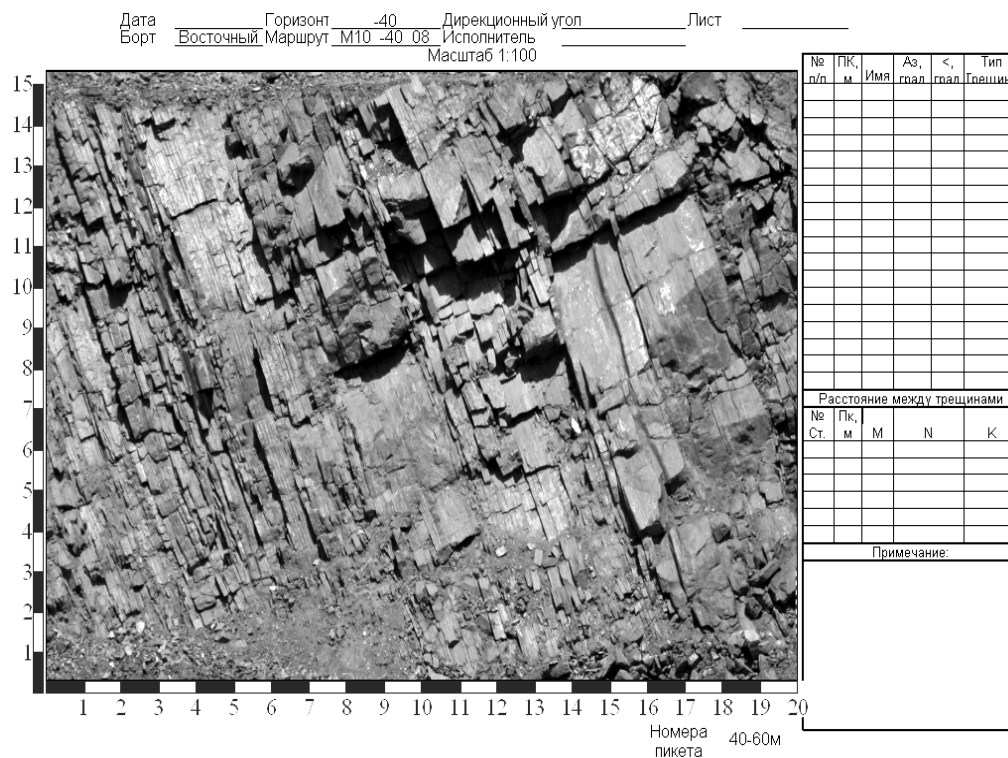


Рис. 2. Страница полевого журнала

Отснятые кадры скачивают в компьютер и в редакторе макетов Preview программного пакета ГИС ГЕОМИКС готовят макет страницы полевого журнала, в том числе вертикальную и горизонтальную шкалу расстояний, контур фотоснимка интервала. Кадры съёмки маршрута поочередно загружаются в картографический редактор MapProj ГИС ГЕОМИКС через произвольную основу и привязываются по трассе маршрута от нулевого пикета. Затем устанавливают фиксированный масштаб (1:100), выделяют на кадре область между верхней и нижней бровками уступа, ограниченную вертикальными отрезками, нижние концы которых соответствуют позиции смежных пикетов. Эту область копируют через Ctrl+insert, а затем через Shift+insert вставляют в подготовленный для неё контур в макете страницы. Подготовленные в компьютере страницы полевого журнала печатают и с помощью зажима крепят на жесткую основу. Непосредственно в процессе геологической документации откоса уступа вместо традиционной зарисовки (трудоёмкой в исполнении и очень схематичной, неточной, во многом субъективной по своему конечному результату) выполняют дешифрирование фотоснимка и гелевыми ручками различного цвета на нём показывают элементы геологического строения документируемого участка уступа (контакты пород, разрывные нарушения, оси складок и др.).

Параллельно с фотосъёмкой уступов (для подготовки полевого журнала) необходимо осуществлять фотосъёмку участков карьера, включающих группу планируемых к документации уступов. Масштабированные панорамные снимки таких участков (рис. 3) существенно облегчают и повышают достоверность увязки на сводном геолого-структурном плане карьера элементов геологического строения породного массива, установленных в процессе документации откосов уступов. Сшивка отснятых кадров в



панораму выполняется вручную с использованием Adobe Photoshop CS2, VideoRed или автоматически в специализированных программах, например, Panorama Maker.

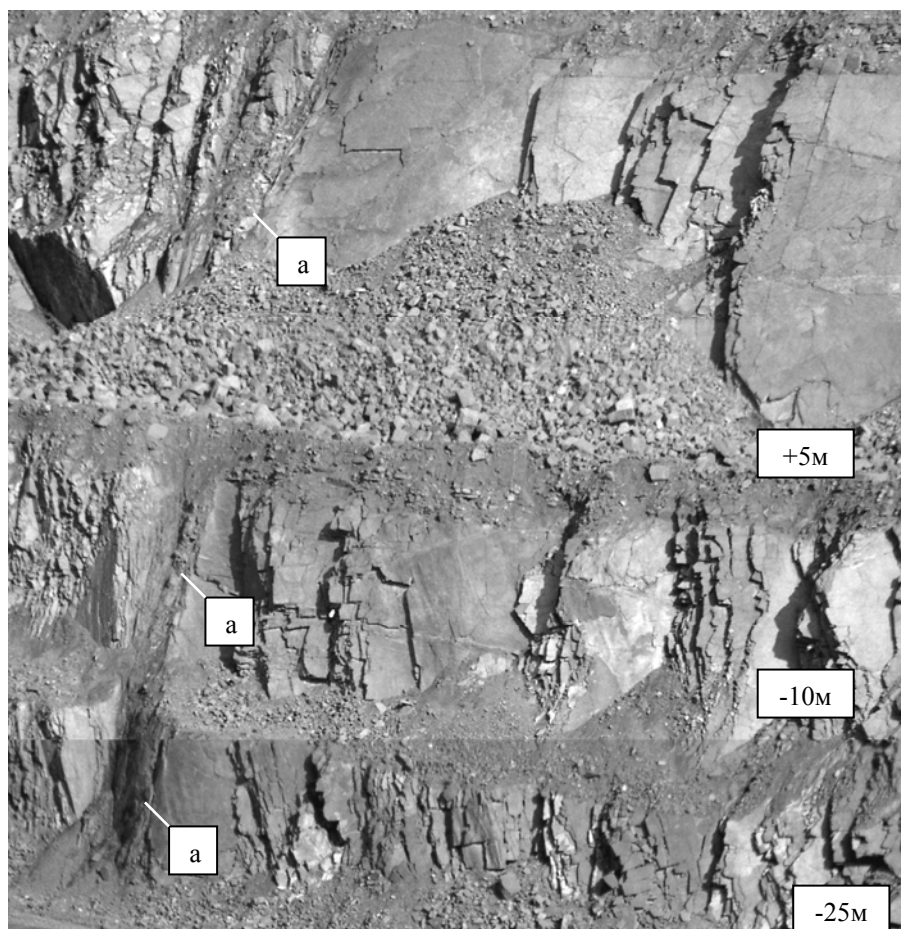


Рис. 3. Панорамный фотоснимок группы уступов западного борта карьера Стойленского ГОКа (а – дайка диоритовых порфиритов)

Особо следует отметить важность создания фотопанорам бортов карьера по всему его периметру со схемой их размещения на сводном маркшейдерском плане карьера. На каждой панораме показывают отметки эксплуатационных горизонтов, номера и трассы геологических маршрутов. Совокупность таких фотопанорам создаёт целостную картинку складчато-разрывной структуры и гипергенной зональности породного массива, вскрытом карьером, и состояния его уступов, поставленных на предельный контур. Это позволяет достоверно проследить на сводном геолого-структурном плане карьера разрывные нарушения, оси складок, дайки интрузивных пород, подошву коры выветривания и подстилающей её зоны гипергенной дезинтеграции пород, геометризовать прибортовую зону карьера по качеству заоткоски уступов, установить позицию и тип деформации уступов, недоступных для непосредственного обследования, выявить проблемные с точки зрения устойчивости уступов участки этой зоны.

Так как на взрываемость пород и их устойчивость в уступах карьера влияют литологический, структурно-тектонический и гипергенный факторы в описании указывается:

- литологический (минерально-петрографический) тип породы, её текстура, мощность единичного слоя в пачках переслаивания;
- тип зафиксированных складок по положению осевой поверхности (прямая, наклонная, опрокинутая и т.п.), по форме и расположению крыльев (нормальная, изоклиальная, коробчатая и т.п.), размах крыльев; особо выделяют и описывают па-



кеты мелких складок и участки проявления плейчатости пород, осложняющие более крупные складки;

– мощность и строение зоны разрывного нарушения, характер его контактов с вмещающими породами, особенности геометрии плоскости сместителя и скульптуры её поверхности, наличие или отсутствие на ней следов скольжения, интенсивность их проявления, характер изменения блочности пород с удалением от его контактов;

– мощность даек интрузивных пород, характер их контактов с вмещающими метаморфитами;

– степень и характер гипергенных изменений пород, мощность и строение линейных зон коры выветривания.

Следующим этапом натуральных исследований является измерение азимутов и углов падения индивидуализированных структурных элементов, показанных на дешифрированном фотоснимке, и трещин отдельности пород, а также расстояний между трещинами одной системы. Азимутально-угловые измерения выполняют гироскопическим компасом (трещиномером) ТГ-3М конструкции ВИОГЕМ (в зоне магнитной аномалии, какой является месторождение железистых кварцитов, применение обычного горного компаса исключено), а расстояний – мерной рейкой. Следует подчеркнуть, что совмещение указанных измерений с фотогеологической документацией уступов, учитывая массовый характер измерений и ограниченный (5 часов без подзарядки аккумулятора) ресурс рабочего времени гироскопаса, неэкономично.

Поскольку установлено [1], что делимость метаморфитов, слагающих месторождения железистых кварцитов, обусловлена главным образом трещинами трёх субортогональных систем ( $M$  – по слоистости пород,  $N$  – поперечно к  $M$ ;  $K$  – близко по простиранию к  $M$  с падением навстречу ей) и кроме них спорадически встречаются образованные позже сколовые трещины (условно выделены в систему  $C$ ), измерения выполняют по указанным системам трещин ( $M$ ,  $N$ ,  $K$ ,  $C$ ), а их результаты с указанием интервала, в котором они выполнены, заносятся в таблицу, расположенную на страницах полевого журнала справа от фотоснимка уступа (рис. 2). Аналогичные измерения в дайках интрузивных пород выполняют, привязываясь к развитым в них системам трещин, которые могут иметь самую различную ориентацию. Исключение составляют трещины системы  $C$ , являющиеся транзитными относительно даек.

В местах проявления борозд скольжения на плоскости сместителя выполняют измерения элементов залегания указанной плоскости и другой, перпендикулярной к ней и параллельной штрихам на борозде скольжения (физически эта плоскость задаётся жёсткой основой полевого журнала). По направлению скольжения в соответствии с общепринятым правилом (за неподвижный принимается лежащий бок нарушения) устанавливается его кинематический тип (сброс, взброс, левый или правый сдвиг, взбросо-сдвиг или сбросо-сдвиг). В период камеральной обработки полевых материалов по линии скрещения упомянутых двух взаимноперпендикулярных плоскостей и направлению скольжения определяется (вручную на стереографической сетке Шмидта или автоматически в системе ГИС ГЕОМИКС) ориентация вектора скольжения (азимут его горизонтальной проекции и угол относительно горизонтальной плоскости).

В условиях развитого карьера, особенно на его предельном контуре, достаточно обычной является ситуация, когда структурные элементы (разрывные нарушения, трещины, дайки), в том числе ограничивающие призмы произошедших обрушений уступов, недоступны для непосредственного измерения их азимута и угла падения. Для решения этой проблемы в случае, когда структурный элемент фиксируется обнажённой плоскостью в откосе уступа, предложен способ дистанционного определения его ориентации, суть которого заключается в следующем. Высокоточным тахеометром (например, Sokkia SET1030R3) в безотражательном режиме производят съёмку нескольких (не менее 3) точек, принадлежащих интересующей нас плоскости. Угловые и линейные параметры съёмки с помощью специальной программы трансформируются в координаты этих точек. Разработанной на основе известного уравнения плоскости [2] алгоритм расчета азимута и угла её падения по координатам принадлежащих ей точек программно реализован в маркшейдерском модуле ГИС ГЕОМИКС.

Следует отметить, что непосредственное измерение расстояний между трещинами с помощью мерной рейки сопряжено с двумя негативными обстоятельствами: долговременным пребыванием в опасной зоне и ограниченным фронтом для производства измерений (только нижняя часть уступа на высоту 2-5 м). В связи с этим авторами совместно с программистами отдела геологии и геоинформатики ОАО «ВИОГЕМ» (С.Г. Кабелко, М.С. Зайцевым) разработаны методика и компьютерная технология оценки размера отдельности пород на поверхности откоса карьера по её масштабированному фотоснимку.

Для реализации этой методики вначале тахеометром снимают точки на нижней и верхней бровках уступа, соответствующие началу и концу 20-метрового интервала. Далее по результатам съёмки тахеометром характерных точек на поверхности откоса или сканирования её лазерным сканером плоское фотоизображение в ГИС ГЕОМИКС трансформируется в трёхмерную поверхность, чем устраняются искажения, возникающие при фотосъёмке откоса. Затем трансформированный снимок подвергают обработке в ручном режиме: исключают из области определения размера отдельности осыпь в основании уступа и разрушенную зону перебулов взрывных скважин в верхней его части, разными типами линий векторизуют трещины различных блокообразующих систем ( $M, N, K$ ). На подготовленном таким образом снимке с помощью функций ГИС ГЕОМИКС по перпендикуляру между смежными трещинами каждой системы определяют искомые расстояния.

Обычно на снимке уступа чётко видны две системы трещин, субперпендикулярные плоскости откоса. Трещины третьей системы, идущие субпараллельно или под острым углом к этой плоскости, на снимке проявлены слабо. Задача определения расстояния между трещинами ( $L_{ср.}$ ) третьей системы была решена следующим образом. По данным натуральных измерений блочности пород в карьере Стойленского ГОКа (всего 989 измерений) оценили тесноту связи между  $L_{ср.}$  одной и  $L_{ср.}$  двух других систем трещин, используя линейное приближение вида:

$$f(x, y) = ax + by + c, \quad (1)$$

где  $a, b, c$  – коэффициенты,  $x, y$  – значения  $L_{ср.}$  по двум системам трещин.

Коэффициенты  $a, b, c$  определялись методом наименьших квадратов с использованием выражения:

$$P = \sum_{i=1}^n (f(x_i, y_i) - \bar{f}_i)^2 \rightarrow \min, \quad (2)$$

где  $P$  – сумма квадратов отклонений значений  $L_{ср.}$  измеренных и рассчитанных,  $n$  – количество измерений,  $f(x_i, y_i)$  – искомая функция,  $\bar{f}_i$  – измеренные значения  $L_{ср.}$  системы трещин.

Подставив (1) в (2) получаем:

$$P = \sum_{i=1}^n (ax_i + by_i + c - \bar{f}_i)^2 \rightarrow \min \quad (3)$$

Величина  $P$  будет минимальной в случае, если частные производные по каждому из неизвестных параметров будут равны нулю. С учетом этого условия составлялась система уравнений, решение которой методом Крамера [3, с. 49] дало искомые коэффициенты для каждой системы трещин:

$$M = 0.06K + 0.53N - 0.08$$

$$N = 0.52K + 0.47M - 0.02$$

$$K = 0.13M + 1.31N - 0.01$$

Рассчитанный средний коэффициент корреляции между измеренными и расчётными  $L_{ср.}$  по всем трём системам трещин составил 0.72, а среднее квадратичное отклонение всего 0.009, что убедительно свидетельствует о достаточной достоверности оценки  $L_{ср.}$  системы трещин, не проявленной на фотоснимке откоса уступа, по значениям  $L_{ср.}$  двух других систем,  $L_{ср.}$  которых автоматически определяется по трансформированному и предварительно обработанному фотоснимку.



По материалам натурных исследований формируется структурированная база пространственно-координированных данных, включающая первичную количественную информацию. Все последующие процедуры, составляющие предложенную методику геолого-структурного обеспечения горных работ, реализуются через запрос к базе данных. Для оценки трещиновато-блочной структуры породного массива, прежде всего, необходимо дать вероятностно-статистическую оценку его блочности, т.е. выявить особенности распределения в нём отдельностей пород различного размера и формы. С этой целью по каждому типу пород, слагающих карьерное поле, в автоматическом режиме, определяются стандартные статистические характеристики размера отдельности (размах, среднее, математическое ожидание и др.), строится полигон вариационного ряда и график плотности вероятности. На основе анализа полученных данных разрабатывают классификацию пород по размеру отдельности и рассчитывают долю (в %) каждого класса в породном массиве. При разработке указанной классификации необходимо учитывать рекомендации межведомственной комиссии по взрывному делу, касающиеся граничных значений размера отдельности каждого класса [4].

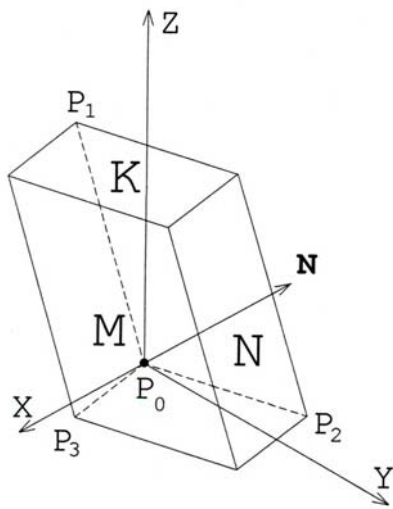
Применительно к месторождениям железистых кварцитов выделяется 6 разновидностей в общем случае параллелепедальной отдельности (кубообразная, столбчатая, плитчатая, удлиненно-плитчатая, пластинчатая, удлиненно-пластинчатая), которые характеризуются различными критериальными значениями длин их ребер (расстояний между трещинами систем  $M, N, K$ ) [5]. По запросу к базе данных производится сортировка станций по форме представляющих их отдельностей и оценивается относительная распространённость (в %) отдельностей каждой формы в породном массиве с построением круговой диаграммы. Здесь под станцией понимается условная точка, соответствующая середине литологически и структурно однородного интервала по трассе полевого маршрута. На визуализированном маркшейдерском плане карьера с трассами пройденных маршрутов и интервалами по ним с указанием для каждого интервала формы и среднего размера отдельности пород осуществляют геометризацию карьерного поля по этим параметрам. Геометризацию по размеру отдельности пород выполняют с учетом разработанной классификации, т.е. карьерное поле расчленяют на участки, каждый из которых представлен одним классом крупности отдельности пород.

Выбор геометрии ячейки сети взрывных скважин и схемы их коммутации при проектировании буровзрывных работ на карьерах определяется особенностями анизотропии трещиновато-блочной структуры взрываеваемого породного массива, которая характеризуется формой и ориентировкой отдельности слагающих его пород. Для оценки указанной анизотропии в массивах метаморфических пород разработана методика и компьютерная технология моделирования формы и ориентировки отдельности [5], суть которой заключается в построении по запросу к базе данных (с отображением на геолого-структурном плане карьера или на плане буровзрывного блока) трехмерной фигуры отдельности для любой станции на выбор, группе станций или в целом по всем станциям.

Визуализированная 3d-модель (рис. 4) сопровождается автоматически рассчитанными параметрами, характеризующими форму и размеры отдельности пород: длину ребер параллелепипеда (среднее расстояние между трещинами каждой системы –  $M, N, K$ ), м; средний размер отдельности –  $L_{ср.}$ , м; двугранный угол между плоскостями трещин отдельности ( $MN, MK, NK$ ), град., величина которого характеризует степень приближения формы реальной отдельности к идеальному параллелепипеду.

Складчато-разрывная структура породного массива отражается на сводном геолого-структурном плане карьера, а также разрезах к нему по линиям геологоразведочных профилей. При необходимости составляются геолого-структурные планы отдельных эксплуатационных горизонтов. Для составления геолого-структурной графики привлекаются цифровые геологическая и маркшейдерская модели разрабатываемого месторождения. Структурные элементы на сводном плане карьера увязываются

между соседними геологическими маршрутами интерактивно с учетом сложившихся в результате анализа геологоразведочных материалов и полевых наблюдений представлений о геологической структуре месторождения.



$M=0.96$ ;  $N=0.78$ ;  $K=1.2$ ;  $L_{cp.}=0.98$ ;  
 $MN=84$ ;  $MK=79$ ;  $NK=88$

Рис.4. Визуализация модели формы и ориентировки отдельности пород единичной станции наблюдения ( $P_0$ ):  $M, N, K$  – плоскости систем трещин,  $N$  – направление на север

Следует отметить, что при построении и пополнении сводного геолого-структурного плана карьера возникает проблема трассирования структурных элементов (разрывных нарушений, даек, контактов горных пород), падение которых существенно (на  $20^\circ$  и более) отличается от вертикального. Увязка таких элементов вручную по их подсечениям геологическими маршрутами на смежных уступах карьера является трудоёмкой процедурой, не гарантирующей правильность выполненной увязки. Проблема автоматизированного трассирования следа пересечения структурного элемента, заданного плоскостью, с поверхностью карьера решена путем создания соответствующего математического аппарата и алгоритмов, программно реализованных в системе ГИС ГЕОМИКС [6]. Разработанная методика в виде компьютерной технологии обеспечивает быструю и правильную трассировку на плане карьера структурных элементов, в том числе пологого залегания. Она позволяет также по известной позиции и ориентировке диагональных относительно простирания уступов трещин, падающих в сторону карьерной выемки и навстречу друг другу, установить потенциальные клиновые призмы обрушения в ниже лежащих, планируемых к постановке на предельный контур, уступах карьера (рис. 5). Частным случаем решения указанной задачи является оценка по позиции и ориентировке двух диагональных трещин, ограничивающих фактически произошедшее клиновое обрушение, вероятности проявления подобного обрушения, обусловленного этими же трещинами, на более глубоких горизонтах приконтурной зоны карьера.

Рис.5. Фрагмент плана карьера (рис. 5). Частным случаем решения указанной задачи является оценка по позиции и ориентировке двух диагональных трещин, ограничивающих фактически произошедшее клиновое обрушение, вероятности проявления подобного обрушения, обусловленного этими же трещинами, на более глубоких горизонтах приконтурной зоны карьера.

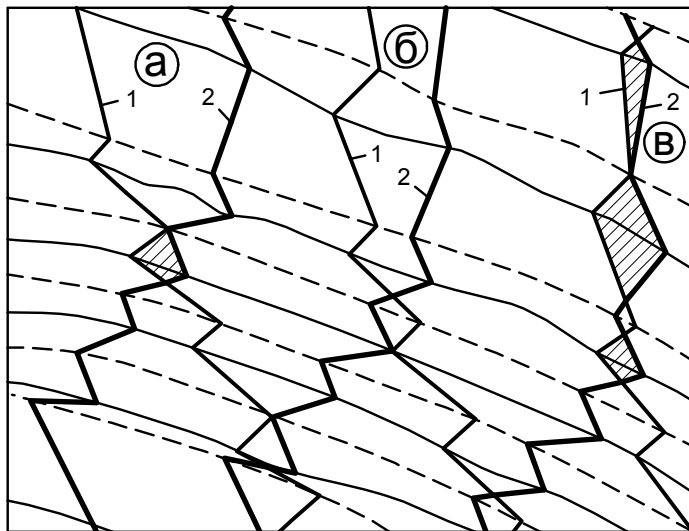


Рис.5. Фрагмент плана карьера, иллюстрирующий различные варианты (а, б, в) пространственных взаимоотношений пары диагональных трещин (1 – аз. пад.  $244 < 52^\circ$ ; 2 – аз. пад.  $135 < 40^\circ$ ) между собой и поверхностью карьера, в том числе с образованием одной (а) или нескольких (в) потенциальных клиновых призм обрушения (заштрихованы)

Структурно однородные участки на плане карьера характеризуются круговой ориентирной диаграммой трещин с показом на ней полюсов трещин различных систем ( $M, N, K, C$ ). Такие диаграммы получают путем компьютерного моделирования по технологии института ВИОГЕМ геометрии решетки трещин по геометрическому за-



просу к базе данных. Аналогично строят диаграммы ориентировки разрывных нарушений и даек, которые используются для характеристики разрывной структуры месторождения.

Итоговыми картографическими документами для непосредственного использования при проектировании буровзрывных работ и выборе конструкции уступов на предельном контуре карьера являются соответственно карта карьерного поля по взрываемости горных пород и схема его районирования по факторам устойчивости уступов. Карты взрываемости горных пород строятся путем совмещения геолого-структурного плана карьера и его плана, геометризованного по категориям блочности (размера отдельности) пород в соответствии с принятой на горном предприятии классификацией пород по взрываемости. В этой классификации каждая категория пород по взрываемости характеризуется категорией блочности, принадлежностью к определенному инженерно-геологическому литотипу пород с указанием их крепости, параметрами взрывания (размером ячейки сети взрывных скважин, их диаметром, удельным расходом взрывчатого вещества). Наличие карты взрываемости разрабатываемого массива горных пород существенно упрощает процесс проектирования буровзрывных работ. Чтобы получить схему размещения в пределах буровзрывного блока участков пород различной категории взрываемости и для каждого участка параметры буровзрывных работ достаточно нанести на карту взрываемости контур этого блока.

Схема районирования карьерного поля по факторам устойчивости уступов также строится на основе сводного геолого-структурного плана карьера с учетом результатов моделирования анизотропии трещиновато-блочной структуры породного массива и геометрии решетки разрывных нарушений и трещин отдельности пород. Основные принципы такого районирования общеприняты: постоянство ориентировки бортов карьера в пределах выделенного района и его относительная структурно-литологическая однородность. На схеме показывают также границы гипергенных зон, водопроявления в бортах карьера, деформации уступов, качество заоткоски уступов, поставленных на предельный контур. Оно определяется по степени проявления на стенке откоса следов экранных скважин (хорошее – сплошные или с небольшими перерывами, удовлетворительное – пунктирные, плохое – следы скважин проявлены локально или вообще отсутствуют). Каждый выделенный район на схеме характеризуется средним значением отдельности пород, круговыми ориентирными диаграммами разрывных нарушений и трещин отдельности, а также визуализированной моделью анизотропии трещиновато-блочной структуры породного массива. На ориентирных диаграммах особым знаком отмечают полюсы систем разрывных нарушений и трещин, падающих в сторону карьерной выемки. Разрывы этих систем являются наиболее опасными с точки зрения устойчивости уступов, так как они при определенных пространственных взаимоотношениях между собой и уступом карьера могут привести к его деформации.

Изложенная методика может быть рекомендована для использования на горно-обогатительных комбинатах, эксплуатирующих месторождения железистых кварцитов. Основное направление её совершенствования – универсализация, смысл которой заключается в разработке методики и компьютерной технологии оценки трещиновато-блочной структуры породных массивов месторождений любых геолого-промышленных типов.

### Список литературы

1. Дунаев В.А., Серый С.С. Трещиноватость метаморфитов курской серии в бассейне КМА // Изв.вузов. Геология и разведка. – 2003. – №2. – С.54-59.
2. Автоматизация геолого-маркшейдерских графических работ / В.В. Ершов, А.С. Дремуха, В.М. Трость, В.Н. Зуй, Г.П. Бедрина. – М.: Недра, 1990. – 347с.
3. Корн Г.А., Корн Т.М. Справочник по математике для научных работников и инженеров. – М.: Наука, 1970. – 720с.
4. Временная классификация горных пород по степени трещиноватости в массиве / Межведомственная комиссия по взрывному делу. Информ. вып. В-199. – М.: ИГД, 1968. – 30с.

5. Моделирование формы и ориентировки отдельности метаморфических пород, слагающих месторождения железистых кварцитов / В.А. Дунаев, И.М. Игнатенко, С.Г. Кабелко, А.В. Герасимов // Горный информ.-аналит. бюлл. – 2011, – №4. – С.75-78.

6. Компьютерная технология трассирования следа пересечения трещины с поверхностью карьера для решения геолого-структурных задач / В.А. Дунаев, И.М. Игнатенко, С.Г. Кабелко, Е.Б. Яницкий // Горный информ.-аналит. бюлл. – 2011, – №4. – С.71-74.

## **TECHNIQUE OF GEOLOGO-STRUCTURAL MAINTENANCE OF OPEN-PITS OF DEVELOPING DEPOSITS OF FERROUS QUARTZITES.**

**V.A. Dunaev**  
**I.M. Ignatenko**

*Belgorod State National Research  
University  
Pobedy St., 85, Belgorod,  
308015, Russia  
E-mail: ignat86\_m@mail.ru*

The technique of geological-structural maintenance of mining in the open-pits developing deposits of ferruginous quartzites suggested by the authors and checked up at ore-dressing and processing enterprises of KMA is stated. The technique provides application of modern technology of fixing the primary information and the wide spectrum of computer technologies of its processing on the basis of the integrated complex GIS the GEOMIX (VIOGEM).

Key words: deposit of ferruginous quartzites, open-pit, mining, the technique, geological-structural maintenance, computer technologies.



## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ И ДЕФОРМАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБРАЗЦОВ ЗАКЛАДОЧНЫХ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ОТХОДОВ<sup>1</sup>

**Е.А. Ермолович**  
**К.А. Измestьев**  
**А.В. Овчинников**

*Белгородский государственный  
национальный  
исследовательский  
университет  
Россия, 308015,  
г. Белгород, ул. Победы, 85  
E-mail: elena.ermolovich@mail.ru*

Рассмотрены результаты экспериментальных исследований прочностных и деформационных параметров образцов закладочных смесей на основе техногенных отходов акустическим методом. Приводится корреляционное уравнение, подтверждающее зависимость прочности образцов бесцементных составов от скорости продольных волн.

Ключевые слова: твердеющие смеси, отходы обогащения железистых кварцитов, кислый доменный гранулированный шлак, ультразвуковое прозвучивание, предел прочности при сжатии, модуль упругости, коэффициент Пуассона.

ОАО «Комбинат КМАруда» ведет разработку запасов железистых кварцитов подземным способом, в результате которого в недрах земли образуются пустоты – камеры, каждая объемом 50–120 м<sup>3</sup>. Общий объем накопленных пустот составляет около 50 млн. м<sup>3</sup>. Из каждого кубометра добытой руды образуется кубометр отходов обогащения [1]. Закладка выработанного пространства твердеющими смесями не только позволит оставлять в целиках минимальное количество руды, но и улучшит экологическую обстановку в регионе Курской магнитной аномалии, если в их составах использовать техногенные отходы. Утилизация отходов производства в структуре разработанных одним из авторов закладочных композитов составляет от 94% до 99,9% по массе на сухое вещество [2–5].

К характеристикам основных свойств закладочных массивов относятся прочностные и деформационные [6]. Прочность – важнейшее свойство материала. Под прочностью понимают способность сопротивляться разрушению от действия внутренних напряжений, возникающих в результате нагрузки или других факторов [7]. Для удобства определения и контроля прочности независимо от характера деформаций искусственного массива ее приводят к пределу прочности при одноосном сжатии. В общем случае, о деформационных свойствах закладочного материала при приложении нагрузки судят по его модулю деформации, т.е. по отношению напряжения к относительной деформации, вызываемой его действием. Чем выше модуль деформации, тем менее деформативен материал. Массивы закладки при деформировании проявляют упруго-вязкие свойства. Для описания их поведения под нагрузкой так же используют модуль деформации [8].

Кроме модуля Юнга  $E$ , деформации массива определяются с использованием упругих параметров: модуля всестороннего сжатия  $K$  и коэффициента Пуассона  $\mu$ .

Прочностные и деформационные характеристики закладочного массива могут определяться испытаниями образцов из кернов, неразрушающими методами контроля прочности и расчетно-фактическим методом [9]. Бетон кернов полностью соответствует реальному материалу конструкции. Однако сложность отбора образцов-кернов, высокая трудоемкость и стоимость выбуривания кернов, возможное нарушение структуры керна при выбуривании и обработке – все это во многих случаях ограничивает

<sup>1</sup> Исследования выполнены при проведении поисковой научно-исследовательской работы в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы (проект П-1077).



использование этого метода [10]. Данные недостатки отсутствуют у методов неразрушающего контроля.

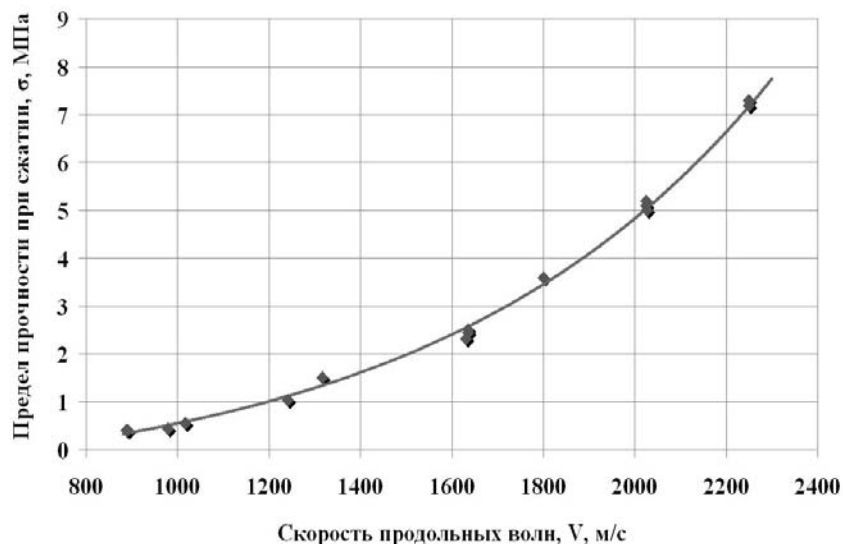
Основное отличие метода неразрушающего контроля от остальных состоит в том, что при его использовании непосредственно измеряемой величиной является не прочность, а какой-либо физический показатель, связанный с измеряемой величиной корреляционной зависимостью.

Для исследования прочностных и деформационных свойств закладки авторы применили ультразвуковой метод сквозного прозвучивания, когда датчики располагаются с разных сторон тестируемого образца. Эксперимент проводился на приборе УК1-10П, в результате которого была установлена корреляционная зависимость между скоростью распространения продольных ультразвуковых волн и пределом прочности закладки на основе отходов обогащения мокрой магнитной сепарации и молотого кислого доменного гранулированного шлака при сжатии при влажности образцов 3–5%:

$$\sigma = 0.37075 \exp(0.00137 \cdot V) - 0.91205,$$

где  $\sigma$  – предел прочности при сжатии, МПа;  $V$  – скорость продольной ультразвуковой волны, м/с. График зависимости приведен на рисунке. Достоверность аппроксимации  $R^2=0,997$ .

Данная зависимость отличается от полученных другими исследователями [9]



тем, что установлена для бесцементных закладочных смесей на основе техногенных отходов без использования природных заполнителей.

Рис. График зависимости предела прочности при сжатии образцов закладки от скорости ультразвуковых продольных волн

Предел прочности образцов при сжатии определялся на электронной испытательной машине Инстрон 5882.

Деформационные характеристики для малопрочных составов закладки, для которых практически невозможно выбуричь керны, представлены в таблице.

Таблица

**Деформационные, прочностные и акустические характеристики малопрочных закладочных смесей**

Номер п/п	Скорость продольной ультразвуковой волны, м/с	Предел прочности при сжатии, МПа	Модуль Юнга, МПа	Модуль всестороннего сжатия, МПа	Коэффициент Пуассона
1	891.1	0.41	412.4	957.1	0.428
2	978.9	0.44	403.9	1159.0	0.442
3	1017.4	0.55	691.8	1261.2	0.409
4	1241.1	1.04	933.1	1937.9	0.420
5	1317.0	1.50	1315.3	2117.5	0.396

Работа выполнена с использованием оборудования Центра коллективного пользования научным оборудованием БелГУ «Диагностика структуры и свойств наноматериалов».



### Список литературы

1. Лейзерович С.Г., Усков А.Х. Разработка экологической направленности технологии добычи железистых кварцитов КМА // Проблемы природопользования и экологическая ситуация в Европейской России и сопредельных странах: материалы IV Международной научной конференции. – Белгород, 2010. – С. 470-473.
2. Ермолович Е.А. Бесцементная закладочная смесь на основе техногенных отходов // Научные ведомости БелГУ. Серия Естественные науки. Выпуск 11. – Белгород: БелГУ. – 2010. – № 9(80). – С. 156-158.
3. Ермолович Е.А. Утилизация некондиционных доломитов в составе твердеющей закладочной смеси для заполнения выработанного пространства // Ресурсовоспроизводящие, малоотходные и природоохранные технологии освоения недр: материалы девятой Международной конференции. Москва–Котону (Бенин), 2010. – С. 209-211.
4. Ермолович Е.А. Утилизация горно-металлургических отходов в составе закладочных смесей для заполнения выработанного пространства шахт // Проблемы природопользования и экологическая ситуация в Европейской России и сопредельных странах: материалы IV Международной научной конференции. – Белгород, 2010. – С. 459-461.
5. Ермолович Е.А. Утилизация отходов ванадиевого производства в плотных смесях для закладки выработанного пространства // Горный информационно-аналитический бюллетень. – М: МГГУ, 2011. – №4. – С. 232-234.
6. Порцевский А.К. Геомеханическое обоснование выбора технологии подземной добычи руды с последующим использованием пустот: автореф. дис. ...д. т. н. – М., 2006. – 58 с.
7. Баженов Ю.М. Технология бетона. – М.: Высшая школа, 1987. – 415 с.
8. Страданченко С.Г., Шубин А.А., Легостаев С.О. Исследование деформационных свойств закладочного материала на основе фиброаполнителя // Проблемы подземного строительства и направления развития тампонажа и закрепления горных пород: материалы научно-практической конференции. – Антрацит, 2006. – С. 29-32.
9. Монтянова А.Н. Формирование закладочных массивов при разработке алмазных месторождений в криолитозоне – М.: Изд-во «Горная книга», 2005 – 597 с.
10. Чихунов, Д.А. Методика и техника для контроля прочности бетонов и других искусственных каменных материалов // Строительная инженерия. – 2005. – № 4. – С. 55-60.

## THE STUDY OF STRENGTH AND DEFORMATION CHARACTERISTICS OF THE BACKFILL MIXTURE SAMPLES BASED ON MINING AND METALLURGICAL WASTES

**E.A. Ermolovich**  
**K.A. Izmestyev**  
**A.V. Ovchinnikov**

*Belgorod State National Research  
University, Pobedy St., 85, Belgorod,  
308015, Russia  
E-mail: elena.ermolovich@mail.ru*

The article considers the results of experimental studies of strengthening and deformation parameters of the stowing material samples based on industrial waste by the acoustic method. The correlation equation, confirming the dependence of the strength of the compositions samples without cement on the velocity of longitudinal waves is presented.

Key words: hardening mixes, ferruginous quartzites cleaning re-jects, acid granulated blast furnace slag, ultrasonic sounding, ultimate compression strength, modulus of elasticity, Poisson's ratio.

## АНТРОПОГЕННОЕ НАКОПЛЕНИЕ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПЕДОЛИТОСЕДИМЕНТАХ ДРЕВНИХ ГОРОДОВ ЕВРОПЕЙСКОЙ РОССИИ<sup>1</sup>

**А.В. Долгих**

*Институт географии РАН  
Россия, 119017, г. Москва,  
Старомонетный пер., 27*

*E-mail: dolgikh@igras.ru*

В процессе антропогенной седиментации в городских педолитоседиментах накапливаются многие химические элементы (*Ca, P, Mn, Cu, Zn, Pb, As*). Из этого ряда следует выделить 4 элемента (кальций, фосфор, цинк и медь), концентрация которых максимальна для всех культурных отложений в городах лесной и степной зоны. Максимальные их концентрации, в несколько раз превышающие фоновые значения, отмечаются в переувлажненных органических слоях почвы городов лесной зоны, насыщенных остатками древесины и растительным детритом.

Ключевые слова: древние города, городские почвы, педолитоседименты, культурный слой, макроэлементы, микроэлементы, загрязнение почв.

Последние несколько столетий характеризуются резким увеличением техногенных процессов эволюции географической среды. Интенсивно происходит трансформация химического состава почв, особенно урбанизированных территорий.

Мощные почвенно-литогенные образования древних городов (до 10 м), представленные культурным слоем и включающие признаки почвообразования и диагенеза, предлагается называть *городскими педолитоседиментами* (ПЛС). Они формируются под воздействием последовательно и/или совместно протекающих процессов *антропогенной седиментации и педолитогенной трансформации* [1]. Данные образования являются аккумуляторами и хранителями огромного количества веществ, привнесенных человеком с внегородских территорий.

Важнейшим фактором формирования городской среды является поступление в почвы и отложения разнообразных химических элементов. Человек с давних пор активно вовлекал и вовлекает в среду своего обитания новые элементы, изменяя ее химический состав [2–5].

Первые работы по изучению геохимии городских культурных слоев проводились на примере древних сильно измененных культурных отложений Москвы [6], Великого Новгорода [2], Пскова [7], Гнездово [8], Ростова Великого [9], ряда городов Средней Азии [10], Курской области [3], Фанагории [11].

В культурных слоях древних городов отмечается значительное накопление тяжелых металлов (медь, цинк, свинец), мышьяка, связанное с интенсивной хозяйственной деятельностью человека. В слоях, содержащих остатки производств, концентрации тяжелых металлов могут достигать очень высоких значений. При этом состав элементов несет в себе информацию о характере антропогенной деятельности, об отличиях разных частей городов, о существовании различных функциональных зон: производственных, селитебных [2, 5, 8].

Поведение микроэлементов и других антропогенных загрязнителей в городских почвах и отложениях изучено недостаточно. Представления о большой подвиж-

<sup>1</sup> Работа выполнена в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы, государственный контракт № 14.740.11.0956 от 29.04.2011 г.

ности многих химических элементов в естественных условиях [12] могут быть перенесены и на педолитоседименты городов.

Однако имеются факты, подтверждающие отсутствие существенной миграции не только тяжелых металлов вниз по профилю культурного слоя городов и четкую их локализацию около источника поступления [13]. Установлено, что содержание загрязнителей в ПЛС городов повышено начиная с самых ранних слоев, но в погребенной почве резко снижается и обычно не превышает фоновых значений. Этому во многом способствует щелочная и слабощелочная среда характерная для городских педоседиментов и почв. Вместе с тем, отмечаются случаи миграции соединений фосфора и их проникновения в погребенную почву [5]. Также высокой сорбционной способностью обладают органические слои, в которых образуются устойчивые металлорганические комплексы [2].

Данные факты позволяют сделать предположение о том, что валовой химический состав каждого слоя ПЛС, особенно органического слоя, достаточно определенно характеризует накопление ряда химических элементов во время формирования этих отложений. Однако возможность миграции некоторых элементов не исключается.

### Объекты и методы исследования

В основу работы положен материал, собранный на археологических раскопках, проводившихся в древних городах лесной зоны Европейской России, функционирующие и сейчас: Старая Ладога (с VIII в.), Великий Новгород (с IX в.), Москва (с XII в.); и древних городах степной зоны Причерноморья: Фанагория (VI в. до н.э.–IX в.), Гермонасса-Тамань (VI в. до н.э.–современность) (рис. 1).



Рис. 1. Географическое положение исследованных древних городов, по [14] с дополнениями

Педолитоседименты древних городов можно разделить на три основные группы: 1. ПЛС древних средневековых городов лесной зоны с плоским рельефом и ослабленным дренажом (Великий Новгород, Старая Ладога, а также ранее изученные Ростов Великий, Старая Русса). 2. ПЛС древних средневековых городов лесной зоны с расчлененным рельефом и свободным дренажом (Москва, Ярославль). 3. ПЛС древних античных и средневековых городов степной зоны, располагающихся в Причерноморье и Приазовье (Фанагория, Гермонасса, Танаис).

В ПЛС городов первой группы нижняя, часто основная, часть городских отложений представлена органическим слоем, содержащим до 95% остатков древесины и «торфообразного» органического вещества. В них много фосфора, встречается карбонатный материал, но при этом прослеживаются процессы подкисления; с гидроморфизмом (подтоплением) связана миграция соединений фосфора. Верхняя часть отложений представлена органо-минеральным слоем, преимущественно легко суглинистым, богатым карбонатами и фосфором (рис. 2).

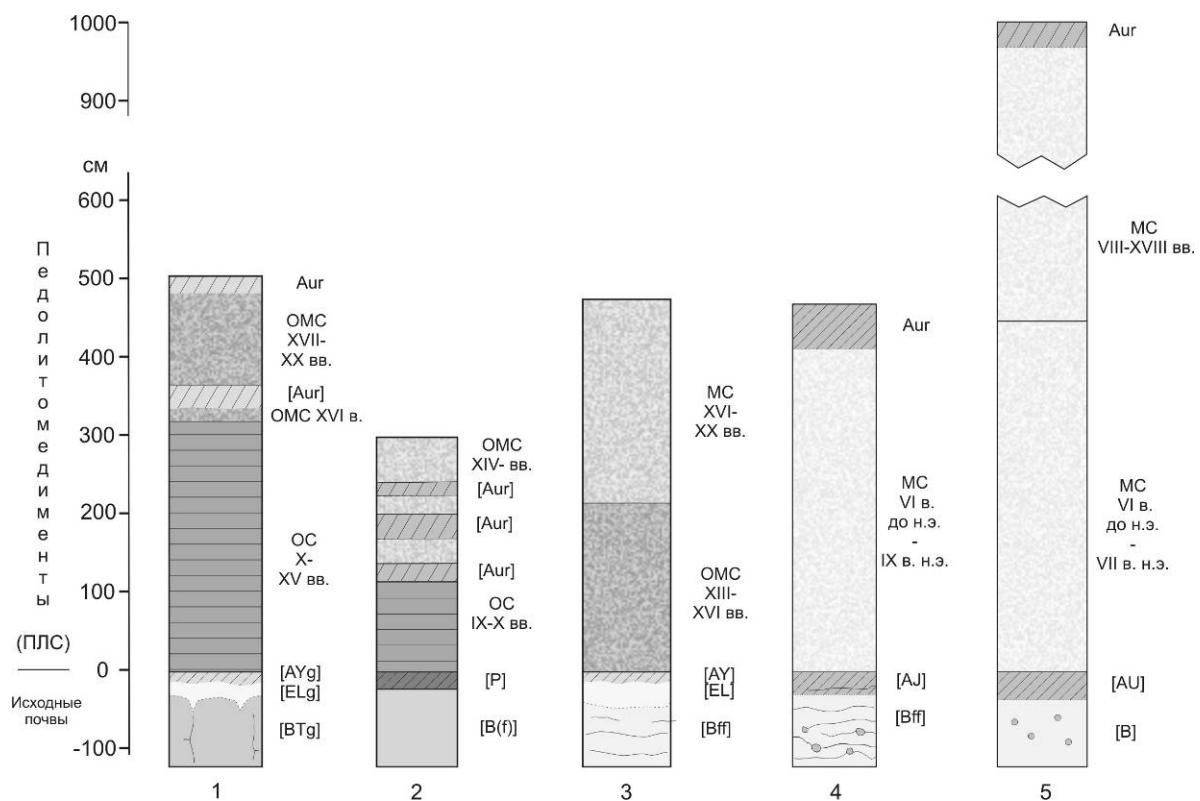


Рис. 2. Строение педолитоседиментов древних городов Европейской России: **Aur**, **ELg**, **P** и др. – индексы почвенных горизонтов по [15]; **MC** – минеральный слой; **OC** – органический слой; **OMC** – органо-минеральный слой; **[Au]**, **[AY]**, **[P]** – погребенные почвы

В ПЛС городов второй группы идет минерализация органического вещества, частичная его гумификация и существенное снижение мощности. Основную часть толщи составляет органо-минеральный слой. В ПЛС городов третьей группы развиты минеральные слои с признаками лессовидности, в максимальной степени выражены процессы деструкции органического вещества и ощелачивания.

Образцы отбирались послойно и погоризонтно в профилях раскопа по общепринятой методике [16]. Химический состав культурных отложений, современных и погребенных почв определялся с помощью рентген-флуоресцентного анализа на спектрометре «Спектроскан Макс GV» в Белгородском государственном национальном исследовательском университете (г. Белгород). Величина накопления элементов в изученных культурных отложениях определялась по отношению к погребенным исходным и фоновым почвам.

### Результаты и их обсуждение

На протяжении всей истории развития человеческого общества происходили изменения в технологиях ремесленной деятельности и бытовой жизни человека, что подтверждается обширными данными, полученными в результате археологических исследований. В культурных отложениях городов обнаруживаются многочисленные артефакты, свидетельствующие о широком использовании человеком различных химических элементов и их соединений.

Источниками их поступления могут быть такие виды деятельности человека, как строительство, металлургическое производство, металлообработка, производство лаков и красок, гончарное ремесло, кожевенное производство и многие другие виды деятельности. Также отмечается широкое использование различных веществ, в том числе и токсичных, в быту [5].



Свидетельства поступления в городскую среду разнообразных химических элементов и их соединений на протяжении всего времени существования исследованных в данной работе городов отражаются в химическом составе педолитоседиментов.

Содержание кальция в культурных отложениях всех исследованных городов, от Великого Новгорода до Гермонассы (Тамани) существенно выше кларковых значений (табл. 1-5). Это связано с поступлением большого количества карбонатного материала (известь, обломки известняка, зола). Отмечается некоторое снижение карбонатности в органических слоях Великого Новгорода и Старой Ладogi, однако, не сопровождаемое снижением содержания кальция.

Таблица 1

**Валовое содержание макро- и микроэлементов, Великий Новгород, Троицкий-ХIII раскоп (раскопки В.Л. Янина, Е.А. Рыбиной, А.М. Степанова, Л.В. Покровской), колонка 4**

Горизонт, глубина, см	CaO	K <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SiO <sub>2</sub>	Mn	Cu	Zn	Pb	Ni	As
	(1.5*)	(1.7)	(5)			(1000)	(30)	(76)	(13)	(80)	(2)
	%					мг/кг					
Aur 5**	<b>5.1</b>	2.2	5.2	<b>1.5</b>	-	<b>2361</b>	<b>83</b>	<b>517</b>	<b>284</b>	-	<b>10</b>
Aur 15	<b>5.8</b>	2.2	4.8	<b>1.7</b>	60.1	<b>2308</b>	67	<b>394</b>	<b>152</b>	28	6
ОМС XIX в. 35	<b>6.3</b>	1.9	5.2	<b>2.5</b>	59.7	<b>2995</b>	63	<b>508</b>	<b>316</b>	29	<b>11</b>
ОМС XIX в. 75	<b>8.3</b>	2.1	4.3	<b>2.0</b>	55.6	-	66	<b>394</b>	<b>86</b>	28	4
ОМС XVIII в. 110	0.7	<b>3.3</b>	7.1	0.5	60.0	611	69	104	<b>52</b>	49	4
[Aur] 160	4.4	2.5	5.5	<b>2.3</b>	-	<b>3405</b>	<b>88</b>	<b>386</b>	<b>44</b>	-	3
ОМС XV в. 200	<b>5.5</b>	1.4	4.7	<b>1.5</b>	-	<b>2748</b>	<b>73</b>	<b>501</b>	<b>48</b>	-	2
ОС XV в. 235	<b>7.3</b>	2.2	5.6	<b>4.4</b>	-	<b>3773</b>	36	<b>288</b>	3	-	1
ОС XIV в. 270	2.9	2.1	3.6	<b>1.1</b>	-	495	<b>100</b>	<b>181</b>	<b>34</b>	-	2
ОС XIV в. 290	<b>4.2</b>	1.9	4.5	<b>1.3</b>	52.7	1074	<b>167</b>	<b>665</b>	25	55	1
ОС XIV в. 320	<b>5.5</b>	2.0	3.4	0.7	54.7	1781	<b>114</b>	<b>478</b>	18	32	1
ОС XIII в. 350	2.6	<b>3.1</b>	6.0	<b>2.0</b>	-	<b>2690</b>	<b>110</b>	<b>201</b>	<b>76</b>	-	4
ОС XIII в. 370	<b>7.9</b>	1.5	4.0	<b>1.5</b>	46.5	<b>2531</b>	<b>155</b>	<b>1545</b>	<b>52</b>	40	2
зола XII в. 385	<b>54.9</b>	0.8	2.6	<b>4.6</b>	-	<b>2893</b>	<b>103</b>	<b>356</b>	8	-	2
ОС XII в. 395	<b>8.4</b>	<b>3.5</b>	4.7	<b>3.2</b>	-	<b>2746</b>	65	<b>736</b>	<b>40</b>	-	3
ОС XII в. 410	<b>6.0</b>	2.9	5.8	<b>2.8</b>	58.8	<b>3141</b>	<b>97</b>	<b>491</b>	18	44	2
ОС XII в. 430	<b>6.8</b>	1.0	4.3	<b>1.1</b>	51.5	<b>2853</b>	<b>115</b>	<b>580</b>	<b>56</b>	26	3
ОС XI в. 450	<b>19.6</b>	1.1	5.7	<b>8.4</b>	33.0	<b>4913</b>	<b>87</b>	<b>801</b>	25	23	1
ОС XI в. 465	<b>7.0</b>	1.3	4.3	<b>1.9</b>	50.1	<b>2557</b>	<b>110</b>	<b>642</b>	<b>68</b>	23	3
ОС XI в. 475	<b>6.9</b>	1.0	3.7	<b>1.4</b>	54.1	<b>2630</b>	<b>121</b>	<b>654</b>	22	29	1
ОС X в. 500	1.2	2.9	4.3	0.7	-	1223	62	<b>152</b>	<b>40</b>	-	3
[AYg] 510	0.8	<b>3.1</b>	3.7	0.4	74.7	713	43	114	25	32	3
[ELg] 520	0.9	2.9	6.9	1.0	72.2	<b>2863</b>	27	99	16	24	2
[BTg] 530	0.6	<b>3.3</b>	7.5	0.5	61.3	989	36	104	20	46	3

Примечание:

\* кларк – среднее содержание химического элемента в земной коре, \*\* – отметки даны от дневной поверхности, жирным шрифтом выделены повышенные концентрации

Среднее содержание железа, титана в культурном слое не отличается от кларковых значений. Накопление марганца, особенно в слоях пожаров (до 6500 мг/кг), обусловлено повышенным содержанием данного элемента в древесине, и особенно характерно для деревьев, выросших во влажных условиях (береза, ольха, ива) [5].

Среди микроэлементов выделяются медь, цинк, свинец и мышьяк, отчетливо накапливающиеся в ПЛС всех городов. Нахождение в городских слоях меди и свинца, вполне закономерно – они использовались человеком в различных производствах и в быту с давних времен. Цинк поступал в отложения городов, в основном при металлур-

гии, являясь примесью в руде или сырье, но также мог поступать с остатками рыбы, в которых этот элемент накапливается в чешуе и жабрах [17].

В ПЛС обнаруживается широкий спектр артефактов, свидетельствующих о существовании мастерских металлургов и ювелиров, производящих изделия из цветных и драгоценных металлов. К ним относятся многочисленные выплески цветных металлов, бракованные изделия, медные проволоки, различные инструменты, льячки и тигли. О существовании металлургического производства, а именно цветной металлургии, говорят не только археологические артефакты, но и высокие концентрации в слое свинца, меди, цинка.

Во всей толще культурных отложений *Великого Новгорода* и *Старой Ладogi* обнаруживается накопление цинка и меди (до 1545 и 167 мг/кг соответственно) (рис. 3, табл. 1-2). В отличие от них мышьяк и свинец, по историческим и археологическим данным также широко применявшиеся в прошлом, накапливаются в основном только в верхней части отложений, в органо-минеральном слое (до 10 и 290 мг/кг соответственно).

Таблица 2

**Валовое содержание макро- и микроэлементов, Старая Ладога, раскоп 4 (раскопки А.Н. Кирпичникова), колонка 1**

Горизонт, глубина, см	CaO	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SiO <sub>2</sub>	Mn	Cu	Zn	Pb	Ni
	(1.5)	(0.5)	(5)			(1000)	(30)	(76)	(13)	(80)
	%					мг/кг				
ОМС XV в. 50	2.6	0.5	2.6	1.3	67.1	1200	23	96	22	4
I Aug 80	3.5	0.6	3.2	1.7	60.8	2300	35	174	35	6
МС XIV в. (зола) 95	3.0	0.6	2.9	1.8	62.4	2200	21	141	27	4
IIa Aug 110	4.7	0.5	3.6	<b>2.1</b>	57.6	2600	51	<b>222</b>	37	4
IIb Aug 130	3.6	0.4	3.0	1.6	64.0	1800	37	187	22	3
ОМС XI в. 160	<b>5.3</b>	0.4	3.8	<b>2.2</b>	56.0	<b>3400</b>	<b>75</b>	<b>378</b>	27	12
III Aug 180	<b>9.6</b>	0.3	2.6	<b>4.7</b>	54.8	<b>3500</b>	<b>79</b>	<b>707</b>	44	5
ОС <sub>1</sub> X в. 190	<b>10.9</b>	0.2	3.0	<b>4.0</b>	31.4	<b>6500</b>	<b>155</b>	<b>763</b>	32	9
ОМС 210	<b>20.9</b>	0.1	1.6	<b>6.1</b>	16.3	<b>5400</b>	<b>92</b>	<b>562</b>	25	2
ОС <sub>2</sub> 220	<b>7.5</b>	0.0	0.6	<b>2.2</b>	33.8	<b>3000</b>	<b>81</b>	<b>517</b>	10	7
ОС <sub>3</sub> 230	<b>9.2</b>	0.3	1.8	<b>2.3</b>	34.4	<b>3000</b>	60	<b>351</b>	23	4
ОС <sub>4</sub> 245	<b>8.4</b>	0.2	1.5	<b>2.5</b>	22.6	2400	49	<b>404</b>	15	1
ОС <sub>5</sub> 260	<b>14.3</b>	0.1	1.3	<b>3.1</b>	25.8	<b>3200</b>	57	<b>386</b>	10	1
ОМС 280	4.8	0.6	4.2	1.6	48.6	1900	27	<b>190</b>	15	12
ОС <sub>6</sub> IX в. 295	<b>7.2</b>	0.5	3.5	<b>2.1</b>	43.6	2500	37	<b>366</b>	22	9
[PU] 305	5.0	0.9	5.2	1.2	46.7	1600	35	212	14	26
V(f) 320	2.0	1.0	6.5	1.2	52.6	1300	40	123	18	29

Отсутствие высоких концентраций свинца и мышьяка в органическом слое не означает меньшее их использование в средние века. Имеются многочисленные примеры широкого применения этих элементов и во время формирования органического слоя. Пониженное содержание свинца и мышьяка в нижней части профиля культурного отложения очевидно связано с их поведением, возможной их вертикальной или латеральной миграцией и выносом из слоя. Медь и цинк, напротив, в условиях высокого содержания кальция и фосфора прочно сорбируются.

Это подтверждается и данными проведенных исследований культурных отложений поселения бронзового века и неолита Песочное-I на оз. Неро (Ярославская область). Несмотря на небольшую глубину залегания культурного слоя, здесь были обнаружены повышенные концентрации меди и цинка на фоне очень высокого содержания кальция и фосфора. Свинец, олово и мышьяк, используемые при выплавке бронзы на месте поселения, обнаруженные при анализе металлических предметов, в мелкоземле культурного слоя не сохранились [18]. Следовательно, в отложениях города мышьяк и свинец не столь стабильны, как цинк и медь.

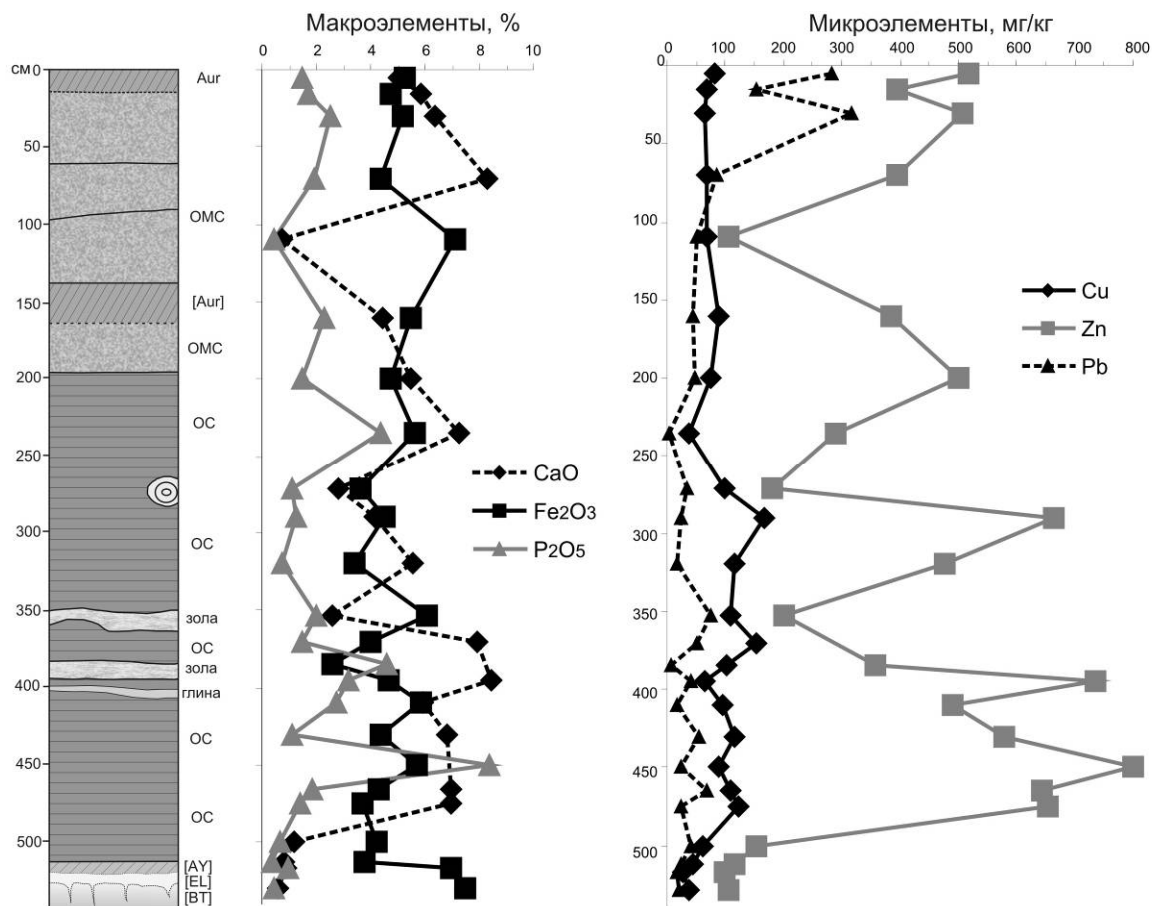


Рис. 3. Распределение макро- и микроэлементов по профилю ПЛС. Великий Новгород, Троицкий-ХIII, колонка 4

В *педолитоседиментах* Москвы содержание кальция, фосфора и тяжелых металлов также заметно выше, чем в фоновых почвах, но несколько ниже, чем в отложениях Великого Новгорода и Старой Ладogi. Высокие концентрации в слое свинца, меди, цинка свидетельствуют о наличии здесь в прошлом металлургического производства. Это подтверждается широким спектром артефактов, связанных с металлургической деятельностью (выплески цветных металлов, льячки и тигли, со следами выплавки металлов на стенках, и др.).

Подвижность микроэлементов невелика. Вместе с тем, отмечаются признаки миграции меди и свинца из культурного слоя в погребенную почву (табл. 3). Подобные явления, характерные также для *Ca* и *P*, отмечаются в условиях переувлажнения, например, в *педолитоседиментах* Великого Новгорода и Старой Ладogi.

На исследованном объекте Теплые ряды выявлены высокие концентрации олова в слоях Нового времени (до 286 мг/кг). Данный элемент в ПЛС еще более подвижен, чем свинец, и в слоях ранее XVIII-XIX вв. никогда не встречается. Можно полагать, что характерное время нахождения свинца в слое, в который он поступил, редко превышает 300-500 лет, а олова – не более 200 лет. Медь и цинк могут сохраняться в слое более 1000 лет.

В изученных *педолитоседиментах городов степной зоны* (Фанагория, Тамань-Гермонасса) максимально выражено ощелачивание, очень мало органического вещества. В этих условиях накопление фосфора (среднее 1–1.5 %) и тяжелых металлов (медь до 80 мг/кг, цинк до 150 мг/кг, свинец до 40 мг/кг) не достигает величин, характерных для городов лесной зоны, и особенно городов первой группы (Великий Новгород и Старая Ладoga).



Таблица 3

**Валовое содержание макро- и микроэлементов, Москва, раскоп Теплые Ряды (раскопки К.В. Воронина), колонка 1**

Горизонт, глубина, см	CaO	K <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Mn	Cu	Zn	Pb	Ni	As
	(1.5*)	(1.7)	(5)		(1000)	(30)	(76)	(13)	(80)	(2)
	%					мг/кг				
МС XX в. 50	<b>9.6</b>	-	2.7	0.7	930	100	<b>240</b>	40	33	2
МС XIX в. 135	<b>18.1</b>	-	3.9	0.8	<b>5200</b>	<b>507</b>	<b>850</b>	<b>937</b>	39	1.5
МС XIX в. 150	<b>12.1</b>	-	3.4	0.8	1900	<b>864</b>	<b>361</b>	<b>337</b>	22	1.2
МС XIX в. 170	4.0	2.5	1.9	0.9	1320	<b>160</b>	<b>220</b>	34	20	1.5
МС XVIII в. 205	<b>10.0</b>	2.0	2.3	0.9	875	60	320	<b>88</b>	18	<b>3.5</b>
МС XVIII в. 230	<b>6.5</b>	2.5	2.1	0.7	1320	<b>80</b>	<b>200</b>	<b>60</b>	20	2.7
МС XVII в. 270	5.5	3.0	4.3	0.9	525	32	60	20	12	0.4
МС XVII в. 280	4.0	1.5	1.7	0.8	1000	<b>240</b>	<b>180</b>	24	40	1.2
МС XVI в. 305	<b>7.0</b>	3.0	3.7	1.1	2000	<b>96</b>	<b>360</b>	<b>64</b>	24	<b>3</b>
ОМС XVI в. 350	5.4	-	2.3	1.2	1830	206	206	37	30	1.5
ОМС XV в. 375	<b>8.5</b>	3.0	3.1	1.3	2560	48	<b>320</b>	20	24	1.2
ОМС XIV в. 400	<b>2.5</b>	<b>5.0</b>	4.3	0.6	<b>4800</b>	<b>160</b>	<b>760</b>	<b>32</b>	40	1.2
ОМС XIII в. 460	<b>11.0</b>	2.4	2.0	0.7	2000	<b>64</b>	<b>360</b>	24	24	1
[AY] 485	1.5	<b>4.0</b>	0.9	0.4	720	40	64	<b>32</b>	16	0.6
[Bff] 525	1.5	3.0	1.2	0.1	800	40	80	20	24	0.4

Исследования в античной Фанагории показали, что в мощных городских ПЛС содержание большинства элементов сходно или слабо повышено по сравнению с фоновыми суглинистыми почвами (черноземами). Для средней и верхней части ПЛС характерны повышенные и слабо повышенные содержания меди, цинка, свинца (табл. 4). Из трех перечисленных, два металла – медь и свинец, в эпоху античности были основными в цветной металлургии. При анализе отдельных археологических объектов и предметов (горны, печи, артефакты и др.), обнаруженных в процессе раскопок Фанагории и других античных городов, выявлены существенно более высокие концентрации многих элементов [11].

Таблица 4

**Валовое содержание макро- и микроэлементов, города степной зоны Европейской России (группа 3)**

Горизонт, глубина, см	CaO	K <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Mn	Cu	Zn	Pb	Ni	As
	(1.5*)	(1.7)	(5)		(1000)	(30)	(76)	(13)	(80)	(2)
	%					мг/кг				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Фанагория, раскоп Верхний Город (раскопки В.Д. Кузнецова), колонка 1										
Aur 10	<b>7.3</b>	2.5	4.4	1.2	1125	50	<b>120</b>	<b>35</b>	40	3
ABur 60	<b>7.3</b>	2.5	4	1.06	750	<b>60</b>	90	<b>20</b>	40	2
Bur 100	3.3	3	4.4	1.11	1125	<b>63</b>	90	<b>20</b>	80	2
МС IV-VI вв. 150	<b>4.3</b>	2.5	3.8	1.21	1000	52	90	<b>20</b>	80	1.6
МС III в. 185	<b>6.7</b>	3	5	0.19	1750	<b>80</b>	105	<b>25</b>	120	2.5
МС II в. 210	<b>4.3</b>	3	5.2	0.91	1250	50	90	<b>20</b>	80	2
МС I в. н.э. 240	3.3	1.5	3.6	0.6	1000	40	90	14	65	1.4
МС I в. до н.э. 280	3	2.5	5	0.31	1250	40	60	14	65	1.2
МС III в. до н.э. 330	<b>5</b>	2.7	5	0.14	1250	24	60	14	80	1.4
МС V в. до н.э. 360	<b>4.7</b>	2.5	4.8	0.15	750	48	50	15	105	1.6
МС V в. до н.э. 380	<b>6.7</b>	2.5	5.2	1.03	<b>2500</b>	<b>65</b>	<b>120</b>	13	130	1.2
МС VI в. до н.э. 400	2	3	5.2	0.31	1250	32	65	16	65	1.5



Окончание табл. 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
МС VI в. до н.э. 420	0.7	2	4	0.18	625	33	47	14	65	1.5
[AJ] 430	0.4	1.5	1.4	0.05	300	20	30	8	40	0.6
[AB] 450	0.3	1.7	1.1	0.05	250	16	25	8	32	0.6
Гермонасса-Тамань (раскопки С.И. Финогеновой), колонка 1										
Aug 5	<b>5.33</b>	2.58	4.47	<b>1.05</b>	1018	42	93	9	-	-
Aug 40	<b>6.45</b>	2.48	3.96	<b>1.23</b>	899	36	88	1	-	-
МС XV-XVI вв. 150	<b>4.21</b>	<b>3.11</b>	3.21	0.67	738	24	67	-	-	-
МС XIII в. 250	3.68	2.58	3.49	0.78	722	31	80	-	-	-
МС VIII-X вв. 350	<b>5.01</b>	2.76	5.15	<b>1.11</b>	1434	<b>51</b>	<b>155</b>	2	-	-
МС IV-V вв. 450	<b>7.92</b>	2.69	4.31	<b>1.12</b>	1190	45	96	-	-	-
МС II в. н.э. 650	<b>5.52</b>	2.83	4.62	0.82	1023	45	90	-	-	-
МС зола I в. 680	<b>8.66</b>	<b>3.59</b>	3.29	<b>2.36</b>	884	41	118	-	-	-
МС I в. д.н.э. 700	<b>4.4</b>	2.63	4.63	0.63	996	47	79	-	-	-
МС II-III вв. д.н.э. 800	<b>4.38</b>	2.63	5.5	0.53	1524	52	88	13	-	-
МС III-IV вв. д.н.э. 850	<b>3.67</b>	2.66	4.89	0.52	928	52	88	19	-	-
МС IV-V вв. д.н.э. 950	<b>4.13</b>	2.61	4.63	0.8	869	42	92	-	-	-
МС VI вв. д.н.э. 975	2.82	2.44	4.64	0.41	891	42	71	23	-	-
[AU] 1008	2.17	2.6	4.78	0.51	917	34	77	24	-	-
[BA] 1075	1.25	2.68	5.2	0.25	753	21	81	46	-	-
[B] 1115	<b>6.66</b>	2.59	4.52	0.28	675	20	34	17	-	-

В отличие от Фанагории, завершившей свое функционирование в раннем средневековье, на месте Гермонассы поселение продолжало существовать. Оно известно под разными названиями: Таматарха – византийский город, Тмутаракань – городской центр древнерусского княжества, Матрега – генуэзский период, Хун-кала – турецкий город, Тамань – современная станица. Поэтому большой интерес представляет именно этот город в степной зоне, в котором кроме античных имеются 5-метровые средневековые культурные отложения. По данным анализов, средневековые городские отложения этого города не отличаются от античных. Для всех них характерны те же величины концентрации элементов. Здесь в средневековых слоях не отмечаются высокие показатели накопления фосфора, меди и цинка, как в ПЛС Великого Новгорода.

В целом, мощные городские педолитоседименты городов степной зоны отличаются от отложений городов лесной зоны меньшим антропогенным накоплением таких химических элементов, как фосфор, кальций, марганец, медь, цинк, свинец, мышьяк.

В целом отмечается следующие тренды накопления макро- и микроэлементов во времени в городах лесной зоны:

1) *Средневековый период X-XV вв.* характеризуется максимальным уровнем антропогенной нагрузки. Производственные зоны распространялись совместно с селитебными территориями. Отмечаются самые высокие концентрации *Cu, Zn, As, Ca, Mn, P*.

2) *Период Нового времени XVI-XVIII вв.* характеризуется более низким уровнем загрязнения территории по сравнению с современным этапом и средневековым. Это объясняется сменой технологии производства, ухудшением уровня жизни в связи с экономическими и социальными проблемами в этих городах.

3) *Новейшее время XIX-XXI вв.* Отмечаются экстремальные показатели содержания свинца, цинка и др., что связано с атмосферными выбросами автотранспорта, а также промышленных предприятий, расположенных вблизи городов [19].

В педолитоседиментах античных городов России в течение всего времени функционирования происходило постепенное накопление цинка, меди, фосфора, особенно кальция. Величины концентрации многих микроэлементов существенно ниже, чем в городских почвах и культурных слоях городов лесной зоны.

Для всех исследованных древних городов Европейской России характерно формирование с самых ранних этапов специфической геохимической среды, отличной от фоновых ландшафтов.

### Выводы

В процессе антропогенной седиментации в городских педолитоседиментах накапливаются многие химические элементы (*Ca, P, Mn, Cu, Zn, Pb, As*). Максимальные их концентрации, в несколько раз превышающие фоновые значения, отмечаются в переувлажненных органических слоях городов лесной зоны, насыщенных остатками древесины и растительным детритом. Они выделяются большей сорбционной способностью (сорбционный геохимический барьер).

Из этого ряда следует выделить 4 элемента (кальций, фосфор, цинк и медь), концентрация которых максимальна для всех культурных отложений городов лесной и степной зоны. Данные элементы характеризуются не только активным поступлением, но и большой устойчивостью. Накопление фосфора в культурном слое в связи с интенсивным поступлением остатков органического вещества животного происхождения особенно велико. Никель и железо в целом показывают небольшие перепады в концентрации и рассеивании элементов.

Проведенные исследования процессов накопления элементов, связанных деятельностью человека, показывают существенные различия в их проявлениях между ПЛС городов, относящихся к трем выделенным нами группам, расположенным в разных географических условиях. Слабо увлажняемые или даже сухие педолитоседименты городов степной зоны (третья группа), малогумусные, карбонатные, щелочные, содержат меньше фосфора и тяжелых металлов, чем влажные, органические, слабощелочные и нейтральные отложения городов лесной зоны с ослабленным дренажем (первая группа). Понижено содержание данных элементов и в отложениях городов второй группы. Следовательно, важнейшим фактором накопления антропогенных элементов в городских ПЛС является наличие мощного органического слоя, состоящего из древесины и торфообразного органического вещества, обладающих высокой сорбционной способностью.

Полученные данные позволяют сделать вывод о контрастной эволюции элементного состава педолитоседиментов на протяжении средневековья, Нового и Новейшего времени, современности. Результаты исследования показали, что такой анализ является чувствительным методом диагностики палео- и современных геохимических аномалий городской среды.

Автор выражает благодарность А.Л. и Е.И. Александровским за помощь на всех этапах проведения работ; руководителям археологических раскопов К.В. Воронину, А.Н. Кирпичникову, В.Д. Кузнецову, А.М. Степанову и С.И. Финогеновой за предоставленную возможность исследований на археологических раскопах.

### Список литературы

1. Долгих А.В. Формирование педолитоседиментов и почвенно-геохимической среды древних городов Европейской России // Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. – М., 2010. – 24 с.
2. Евдокимова А.К. Тяжелые металлы в культурном слое средневекового Новгорода // Вестн. Моск. Ун-та, Сер. 5, География. – 1986. – № 3. – С. 86–91.
3. Кайданова О.В. Геохимия культурных слоев древних городов // Эко-геохимический анализ техногенного загрязнения. – М.: ИМГРЭ, 1991. – С. 126–133.
4. Thornton I. Metal contamination of soils in urban areas // Soils in the urban environment. – Oxford: Blackwell, 1991. – P. 47–75.
5. Александровская Е.И., Александровский А.Л. Историко-географическая антропохимия. – М.: НИИ-Природа, 2003. – 204 с.



6. Александровский А.Л., Александровская Е.И. Результаты почвенно-геохимических исследований на раскопках Романова двора // Археология Романова двора: предыстория и история центра Москвы в XII–XIX веках. Материалы охранных археологических исследований. – М.: ИА РАН, 2009. – Т. 12. – С.176–195.
7. Евдокимова А.К. Сравнительная характеристика показателей содержания тяжелых металлов в антропогенных органических слоях Новгорода и Пскова // Археология и история Пскова и Псковской земли. – Псков, 1986. – С. 28–31.
8. Бронникова М.А., Мурашева В.В., Якушев А.И. Первые данные по пространственной неоднородности элементного состава культурного слоя Гнездовского поселения // Гнездово: Результаты комплексных исследований памятника. – М., 2008. – С. 145–149.
9. Александровский А.Л., Александровская Е.И. Результаты комплексного исследования почв и культурного слоя раскопа в Конюшенном дворе Ростова Великого// Конюшенный раскоп в Ростове Великом: материалы охранных археологических исследований. – М.: ООО "Таус", 2007. – Т. 9. – С. 38–45.
10. Евдокимова А.К., Становова Г.В. Геохимические особенности культурного слоя погребенных средневековых городищ Средней Азии // Вестн. Моск. Ун-та, Сер. 5, География. – 1987. – № 5. – С. 92–98.
11. Александровский А.Л., Александровская Е.И., Долгих А.В. Эволюция почв и палеосреды античных городов юга Европейской России // Известия РАН, Серия географическая. – 2010. – №4. – С. 73–86.
12. Перельман А.И. Геохимия ландшафта. – М.: Изд-во «Высшая школа», 1966. – 392 с.
13. Alexandrovskaya E.I., Alexandrovskiy A.L. History of cultural layer of Moscow and accumulation of anthropogenic substances in it // Catena. – 2000. – Vol. 41, № 1–3. – P. 249–259.
14. Исаченко А.Г. Ландшафты // Экологический атлас России. – М., 2002.
15. Классификация и диагностика почв России. – М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2004. – 341 с.
16. Естественно-научные методы исследования культурных слоев древних поселений. – М: НИИ-Природа, 2004. – 107 с.
17. Александровская Е.И., Александровский А.Л. Антропохимия. Учебное пособие. – М.: Класс-М, 2007. – 246 с.
18. Александровский А.Л., Воронин К.В., Александровская Е.И., Мамонтова Д.А., Долгих А.В. Естественнонаучные методы изучения многослойных доисторических памятников с гомогенным культурным слоем (на примере поселения Песочное-1 на озере Неро) // Археология Подмосковья. М.: ИА РАН, 2011. – Вып. 7. – С. 11–25.
19. Касимов Н.С., Никифорова Е.М. Геохимия городов и городских ландшафтов // География, общество, окружающая среда. Т. IV: Природно-антропогенные процессы и экологический риск. – М.:Издательский Дом «Городец», 2004. – С.474–508.

## ANTHROPOGENIC ACCUMULATION OF CHEMICAL ELEMENTS IN URBOSEDIMENTS OF THE ANCIENT CITIES OF EUROPEAN RUSSIA

**A.V. Dolgikh**

*Institute of Geography, Russian Academy of Sciences  
Staromonetny 27, Moscow,  
119017, Russia  
E-mail: dolgikh@igras.ru*

Many chemical elements (Ca, P, Mn, Cu, Zn, Pb, As,) accumulate in urbosediments in anthropogenic sedimentation. Four elements (calcium, phosphorus, zinc and copper), the concentration of which is highest possible for all the cultural deposits of old cities in forest and steppe zones, should be singled out. Their maximum concentrations several times higher than background values are observed in wetland organic layers of old cities of the forest zone, full of refuse wood and phytodetritus.

Key words: ancient cities, urban soil, urbosediments, natural layer, macroelements, microelements, soil pollution.

## ОЦЕНКА СКОРОСТИ МИНЕРАЛИЗАЦИИ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ОСНОВНЫХ ТИПОВ ПОЧВ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРНЫХ РЕЖИМАХ<sup>1</sup>

**В.В. Каганов<sup>1</sup>**  
**И.Н. Курганова<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Центр по проблемам экологии  
и продуктивности лесов РАН  
Россия, 117810, Москва,  
ул. Профсоюзная, 84/32  
E-mail: saganss@rambler.ru

<sup>2</sup> Институт физико-химических  
и биологических проблем  
почвоведения РАН  
Россия, 142290, Московская обл.,  
г. Пушкино, Институтская, 2

E-mail: ikurg@mail.ru

В условиях лабораторных экспериментов изучалась скорость минерализации органического вещества (ОВ) основных типов почв Европейской части России при влажности, составляющей 65% их полной полевой влагоемкости, и различных температурных режимах, моделирующих годовой климатический цикл. Найдено, что скорость минерализации ОВ ( $R_{min}$ ) снижалась при уменьшении температуры ( $t$ ) с различной скоростью. Самым значительным (на 41–61%) уменьшение интенсивности выделения  $CO_2$  было при изменении температуры почвы от 26°C до 21°C. Кривая зависимости скорости минерализации ( $R_{min}$ ) от  $t$  носила экспоненциальный характер и хорошо аппроксимировалась уравнением регрессии первого порядка:  $\ln R_{min} = kt + b$ . Температурный коэффициент ( $Q_{10}$ ) в исследуемых почвах варьировал от 2.7 до 3.8. Почвы, находящиеся в сельскохозяйственном использовании, характеризовались меньшей температурной чувствительностью по сравнению с их естественными аналогами и имели самые низкие значения  $Q_{10}$ . Показано, что минерализация ОВ почв наблюдалась при их полном замерзании ( $t = -5^\circ C$ ) и когда  $R_{min}$  составляла 0.2–6% от интенсивности выделения  $CO_2$  при +26°C. Обнаружен значительный всплеск интенсивности выделения  $CO_2$  при оттаивании почв после их полного промерзания. Его интенсивность в 2.5–7 раза превышала  $R_{min}$  при  $t = +10^\circ C$  до замораживания, а в некоторых случаях была сравнима с интенсивностью выделения  $CO_2$  при +21–26°C.

Ключевые слова: минерализация органического вещества почв, интенсивность выделения  $CO_2$ , микробная биомасса, температурный коэффициент  $Q_{10}$ , замораживание-оттаивание почв.

### Введение

Минерализация (разложение, деструкция) органического вещества (ОВ) почв является одним из основных этапов в процессе его трансформации. Разложение ОВ в почвах имеет главным образом микробиологическую природу, а ее конечными продуктами являются углекислый газ и вода [1]. В связи с этим весьма популярным методом для изучения процессов минерализации ОВ среди исследователей является биокинетический метод, основанный на анализе интенсивности выделения углекислого газа ( $CO_2$ ) из почв в условиях инкубационных экспериментов различной продолжительности [2, 3]. Интенсивность процессов минерализации ОВ почв зависит как от качественных характеристик самого органического материала (содержание лигнина, целлюлозы, аминокислот, моносахаров; соотношение  $C/N$  и пр.), так и от условий внешней среды (главным образом, температуры и влажности почвы). Влияние всех перечисленных факторов трудно ранжировать, но считается, что основным параметром, позволяющим количественно описать скорость разложения органического вещества, является температура почв [4, 5]. Высокая положительная корреляция между скоростью выделения  $CO_2$  из почв и температурой воздуха и/или почвы обнаружена как в глобальном мас-

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке Госконтракта № 14.740.11.0956 от 29.04.2011 г. Шифр лота – 2011-1.4-505-003. Наименование лота – «Проведение поисковых научно-исследовательских работ в целях развития общероссийской мобильности в области наук о Земле, экологии и рациональном природопользовании». Обобщенная тема ПНИР – Разработка методов и подходов к комплексной оценке и ингибированию техногенного воздействия на окружающую среду и гранта РФФИ №11-04-01486-а.



штабе [6–9], так и для почв отдельных регионов и экосистем [10–15]. Зависимость скорости минерализации органического вещества от температуры часто описывают, используя экспоненциальную функцию с константой  $Q_{10}$  [16–19]. Однако, модели, использующие  $Q_{10}$  для описания температурных зависимостей, как правило, являются адекватными лишь в ограниченном интервале температур [16, 19].

В полевых условиях изучение влияния температуры на скорость выделения  $CO_2$  из почвы обычно ограничивается рамками вегетационного периода. Практически неизученным для почв России представляется вопрос об оценках скорости разложения ОВ при отрицательных температурах и контрастной смене фазовых состояний почв, наблюдающихся при их замерзании и последующем оттаивании. В настоящее время подобные исследования приобретают особую значимость в свете глобальных изменений климата и природной среды.

Цель настоящего исследования состояла в сравнительной оценке скорости минерализации ОВ основных типов почв Европейской части России в интервале температур, моделирующем годовой климатический цикл, и разработке моделей, описывающих связь между скоростью выделения  $CO_2$  из почв и температурой почвы.

### Объекты и методы исследования

Скорость минерализации органического вещества изучалась в лабораторных условиях в образцах следующих типов почв (слой 0–20 см), относящихся к четырем природно-географическим зонам:

#### 1. Южно-таежная зона

*Дерново-слабоподзолистая глееватая слабогумусная супесчаная на покровном лессовидном суглинке* (Приокско-Террасный Государственный Биосферный Заповедник, Московская область, Серпуховской район) – лесной ценоз;

*Серая лесная тяжелосуглинистая на покровном лессовидном суглинке* (Опытно-полевая станция ИФХБПП РАН, Московская область, г. Пущино) – лесной ценоз и агроценоз (озимая пшеница);

#### 2. Лесостепная зона

*Чернозем выщелоченный среднегумусный мощный тяжелосуглинистый на покровном суглинке* (Тульская область, водораздел р. Упа и Плава) – агроценоз (сеяные травы);

#### 3. Степная зона

*Чернозем типичный малогумусный среднемошный тяжелосуглинистый на лессовидном карбонатном суглинке* (Курская область, Центрально-черноземный заповедник «Стрелецкая степь») – косая степь и агроценоз (пшеница);

*Чернозем обыкновенный тучный мощный тяжелосуглинистый на лессовидном карбонатном суглинке* (Воронежская область, Таловский район, НИИСХ ЦЧО «Каменная степь») – некосимая степь;

*Чернозем южный слабогумусный маломощный легкосуглинистый на лессовидном карбонатном суглинке* (Волгоградская область, Бузулукский район, терраса р. Бузулук) – агроценоз (подсолнечник);

#### 4. Сухостепная зона

*Светло-каштановая сильно солонцеватая очень маломощная на желтобуром суглинке* (Волгоградская область, с. Самофаловка) – целинная степь;

*Солонец степной мелкий тяжелосуглинистый на повышении* – микропакоре (Волгоградская область, с. Самофаловка) – целинная степь.

Полную полевую влагоемкость (ППВ, %) определяли в лабораторных условиях в нарушенных образцах, просеянных через сито с диаметром ячеек 2 мм [20]. Определение содержания органического углерода ( $C_{орг}$ ) в почвенных образцах проводили на элементном CN-анализаторе (Elementar, Германия). Величину  $pH$  определяли потенциометрически в водной вытяжке при соотношении почва : раствор = 1 : 2.5.

Потенциальную скорость минерализации ОВ ( $PR_{min}$ ) определяли в лабораторных условиях по интенсивности выделения  $CO_2$  из почвы при увлажнении, соответствующем 60-65% ППВ, и температуре 26°C. Навеску воздушно-сухой почвы (10 г), освобожденной от корней и просеянной через сито с диаметром отверстий 2 мм, помещали во флаконы объемом 100 мл, увлажняли и закрывали пленками, пропускающими воздух, но препятствующими испарению влаги. После предварительного инкубирования при  $t = 26^\circ C$  в течение 5–7 суток, флаконы герметично закрывали резиновыми пробками и выдерживали в термостате при той же температуре 10–12 часов. Затем из флакона с помощью шприца отбирали пробу газовой фазы и определяли в ней концентрацию  $CO_2$  с использованием газового хроматографа Кристалл-2000 с катарометром в качестве детектора. Расчет  $PR_{min}$  (мг С/кг почвы/сут) проводили по формуле:

$$PR_{min} = dC \times 12 \times V_{\text{флак}} \times 1000 / m \times 22.4 \times t \times 100, \quad (1)$$

где  $dC$  – показания прибора с учетом нулевого значения, объемные %;  $V_{\text{флак}}$  – объем флакона, мл;  $t$  – время инкубации, сут;  $m$  – навеска почвы, кг.

Содержание микробного углерода ( $C_{mic}$ ) определяли методом субстрат-индуцированного дыхания [21, 22]. Считается, что первоначальное увеличение дыхания после внесения питательного субстрата (глюкозы) в почву прямо пропорционально содержанию углерода в живой («активной») микробной биомассе. Для определения  $C_{mic}$  флаконы с почвой после измерения  $PR_{min}$  проветривали и вносили раствор глюкозы из расчета 10 мг глюкозы на 1 г почвы. Через 2 часа после добавления питательного субстрата флаконы снова проветривали, герметично закрывали, инкубировали при  $t = 26^\circ C$  в течение 1.5–2 час и затем снова определяли концентрацию  $CO_2$  во флаконе. Скорость субстрат-индуцированного дыхания ( $V_{SIR}$ ), отражающая отклик микробного сообщества почв на внесение дополнительного субстрата, рассчитывалась по формуле (1). Расчет содержания микробной биомассы ( $C_{mic}$ , мг/кг почвы) производили согласно уравнению [22]:

$$C_{mic} = 40.04 \times V_{SIR} + 0.37, \quad (2)$$

где  $C_{mic}$  – содержание углерода, иммобилизованного в микробной биомассе (мг С/кг почвы),  $V_{SIR}$  – скорость субстрат-индуцированного дыхания (мг С/кг почвы/час).

Метаболический коэффициент  $qCO_2$  рассчитывали как соотношение скоростей выделения  $CO_2$  из небогатой почвы и почвы, в которую вносили избыток доступного субстрата – глюкозы [23].

Температурную чувствительность скорости разложения ОВ почв оценивали с помощью температурных коэффициентов  $Q_{10}$ , показывающих во сколько раз увеличивается интенсивность выделения  $CO_2$  (скорость минерализации,  $R_{min}$ ) при повышении температуры на 10°C. Температурный коэффициент  $Q_{10}$  рассчитывали в 2 этапа [24, 25]:

(1) построение регрессионной модели типа:  $\ln R_{min} = kt + b$ , где  $R_{min}$  – скорость минерализации при различных температурах  $t$ , с целью определения коэффициента регрессии  $k$ ;

(2) расчет температурного коэффициента по формуле:

$$Q_{10} = \exp(10k). \quad (3)$$

Зависимости скорости разложения ОВ от температуры в рамках настоящего исследования строились для изучаемых почв при уровнях влажности, соответствующих 60% ППВ и температурном диапазоне от –5 до +26°C. С этой целью скорость минерализации ОВ почв ( $R_{min}$ , мг С/кг почвы/час) измеряли после инкубирования при температурах: +26, +21, +16, +11, +6, –5°C. Инкубация образцов при положительных температурах составляла 22–24 часа, а при отрицательной – 66 часов. Оттаивание почв проводили при  $t = +10^\circ C$  в течение 3-х часов. После каждого изменения температуры флаконы проветривались 30 минут и снова герметично закрывались. Исходя из полученных в наших экспериментах данных, были рассчитаны величины температурного коэффициента  $Q_{10}$  для  $R_{min}$  в температурном диапазоне от –5 до +26°C.



### Результаты и обсуждение

Общая и микробиологическая характеристика почв зонального ряда. Изучаемые почвы расположены в четырех различных природно-географических зонах, они сформировались на разных материнских породах, а в пределах одной зоны характеризовались различными типами землепользования. В связи с этим, изучаемые почвы заметно отличались по основным химическим свойствам и способности удерживать влагу (табл. 1). Содержание органического углерода, являющегося основным питательным субстратом для микробных сообществ, изменялось в изучаемых почвах в широких пределах: от 10.7 г С/кг почвы в дерново-слабоподзолистой и серой лесной (агроценоз) почвах до 56.3 г С/кг почвы – в черноземе обыкновенном (табл. 1). Значения  $pH$  водной суспензии в изучаемом ряду почв постепенно менялись от слабнокислой реакции (5.5–5.8 ед.) в почвах южно-таежной и лесостепной зон до слабощелочной (7.1–7.2 ед.) – в почвах сухостепной зоны (табл. 1). Величина полной полевой влагоемкости (ППВ), показывающая как много воды может удержать та или иная почва после оттока гравитационной влаги, зависит как от содержания в почве органических веществ, так и от ее минералогического и механического состава. Самые низкие значения ППВ были зафиксированы в супесчаной дерново-слабоподзолистой почве (39.5%), а наиболее высокими величинами ППВ характеризовались серая лесная почва под лесной растительностью и черноземы (52–62%).

Значения  $PR_{min}$  также широко варьировали в почвах зонального ряда (табл.1). Максимальные значения потенциальной скорости минерализации ОВ были зафиксированы в солонце и серой лесной почве под лесом – 35.8 и 42.5 мг С/кг почвы/сут, соответственно. Чернозем южный (агроценоз) характеризовался самой низкой величиной  $PR_{min}$  – 5.3 мг С/кг почвы/сут, что указывает на слабую микробиологическую активность этих почв, вызванную, возможно, дефицитом доступного углерода вследствие длительного возделывания пропашных культур на этих почвах. Корреляционные связи между  $PR_{min}$ , содержанием гумуса и величиной  $pH$  были недостоверны. Найдено, что потенциальная скорость минерализации ОВ серой лесной почвы под озимой пшеницей была достоверно ниже  $PR_{min}$  под лесом, что так же может быть обусловлено уменьшением количества легкодоступного углерода при вовлечении серых лесных почв в сельскохозяйственный оборот. На черноземе типичном различия, вызванные особенностями сельскохозяйственного использования, оказались не значимы.

Если потенциальную скорость минерализации выразить на единицу органического углерода, то получаемая величина (удельная скорость минерализации,  $PR_{min}/C_{орг}$ ; мг С/г  $C_{орг}$ /сут) может служить косвенной характеристикой устойчивости органического вещества почв к разложению [26]. А именно, чем ниже значения  $PR_{min}/C_{орг}$ , тем менее подвержено ОВ этих почв минерализации, и наоборот. Среди изученных почв самым устойчивым к минерализации было органическое вещество черноземов: значения  $PR_{min}/C_{орг}$  в них варьировали от 0.38 до 0.62 мг С/г  $C_{орг}$ /сут, в среднем составляя  $0.48 \pm 0.04$  мг С/г  $C_{орг}$ /сут (табл. 1). Во всех остальных почвах зонального ряда значения удельная скорость минерализации были в среднем в 3 раза выше ( $1.57 \pm 0.22$  мг С/г  $C_{орг}$ /сут), изменяясь в зависимости от типа почв от 1.06 мг С/г  $C_{орг}$ /сут в серой лесной почве под агроценозом до 2.03 мг С/г  $C_{орг}$ /сут – на солонце.

Таблица 1

#### Общая и микробиологическая характеристика почв зонального ряда

Почва	Ценоз	$pH_{водн.}$	ППВ, %	$C_{орг.}$ , г С/кг почвы	$PR_{min}$ , мг С/кг почвы/сут	$PR_{min}/C_{орг}$ , мг С/г $C_{орг}$ /сут	$C_{mic}$ , мг/кг почвы	$qCO_2$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Дерново-слабоподзолистая	Лесной	5.8	39.5	10.7	18.2	1.70	90.2	0.34
Серая лесная	Лесной	6.8	60.7	23.9	42.5	1.78	317.4	0.22



Окончание табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Серая лесная	Агроценоз	6.0	43.2	10.9	11.5	1.06	170.3	0.11
Чернозем выщелоченный	Агроценоз	5.5	61.1	37.6	23.3	0.62	109.2	0.36
Чернозем типичный	Косимая степь	6.6	57.4	34.3	16.8	0.49	257.7	0.11
Чернозем типичный	Агроценоз	6.3	52.1	31.9	15.4	0.48	268.4	0.10
Чернозем обыкновенный	Некосимая степь	6.6	61.9	56.3	24.7	0.44	295.0	0.14
Чернозем южный	Агроценоз	7.1	41.9	13.9	5.3	0.38	133.4	0.07
Светло-каштановая	Целина	6.5	39.0	14.6	18.5	1.27	267.2	0.12
Солонец солончаковый	Целина	7.2	45.2	17.6	35.8	2.03	387.0	0.15

Среди изученных почв, содержание микробного углерода было максимальным (>300 мг С/кг почвы) в солонце солончаковом и на серой лесной почве под лесом (табл. 1). В верхнем 20-см горизонте черноземов оно варьировало от 109 до 295 мг С/кг почвы. Минимальное содержание  $S_{mic}$  было в супесчаных дерново-подзолистых почвах южно-таежной зоны – 90 мг С/кг почвы.

Метаболический коэффициент  $qCO_2$ , показывающий, сколько  $CO_2$  продуцируется на единицу биомассы и являющийся показателем интенсивности протекающих в почве процессов минерализации органического вещества, для большинства изучаемых почв находится в интервале 0.1–0.2 (табл. 1), что типично для почв, находящихся в условиях оптимального температурно-влажностного режима [23]. Наиболее высокие значения  $qCO_2$  (0.36–0.34) были характерны для чернозема выщелоченного (агроценоз) и дерново-слабоподзолистой почвы (лесной ценоз), что свидетельствует об интенсивных процессах разложения органического вещества в этих почвах. Чернозем южный под агроценозом имел самый низкий метаболический коэффициент (0.07), что, по всей видимости, объясняется недостатком органических и минеральных веществ в почве.

Скорость минерализации ОБ почв при различных температурных режимах. Постепенное снижение температуры с +26°C до –5°C вызывало закономерное уменьшение скорости минерализации ОБ во всех изучаемых почвах (табл. 2). Одновременно наблюдалось также снижение размаха варьирования значений скорости выделения  $CO_2$ , характеризуемого величиной стандартного отклонения ( $std$ ): наибольшие значения  $std$  были получены при  $t = +26^\circ C$ , а наименьшие – при  $t = -5^\circ C$ . Исключением являлся чернозем типичный (косимая степь), где варьирование значений  $R_{min}$  во всех температурных диапазонах было незначительным и примерно одинаковым. Наиболее резкое уменьшение  $R_{min}$  во всех исследованных почвах – почти в 2 раза (41–61%) – наблюдалось при уменьшении температуры инкубации от +26 до +21°C (табл. 2). Интенсивность выделения  $CO_2$  при +16°C составила уже только 29-48% от  $PR_{min}$ , а при +11 и +6°C – 13–26% и 1–11% от  $PR_{min}$ , соответственно.

Таблица 2

**Скорость минерализации почв зонального ряда при различных температурах (числитель – мг С/кг почвы/час; знаменатель – % от  $R_{min}$  при 26°C)**

Название почвы	Ценоз	Температура, °C						Оттаивание, +10°C
		+26	+21	+16	+11	+6	–5	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Дерново-слабоподзолистая	Лесной	$\frac{0.76}{100}$	$\frac{0.45}{59}$	$\frac{0.28}{38}$	$\frac{0.15}{20}$	$\frac{0.08}{10}$	$\frac{0.02}{3}$	$\frac{0.54}{71}$



Окончание табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Серая лесная	Лесной	$\frac{1.77}{100}$ 52	$\frac{0.92}{59}$ 29	$\frac{0.51}{43}$ 17	$\frac{0.30}{26}$ 8	$\frac{0.14}{10}$ 2	$\frac{0.04}{3}$ 2	$\frac{1.07}{81}$ 60
Серая лесная	Агроценоз	$\frac{0.48}{100}$ 59	$\frac{0.28}{59}$ 43	$\frac{0.21}{43}$ 26	$\frac{0.13}{26}$ 10	$\frac{0.05}{10}$ 3	$\frac{0.02}{3}$ 3	$\frac{0.39}{81}$ 81
Чернозем выщелоченный	Агроценоз	$\frac{0.97}{100}$ 59	$\frac{0.57}{59}$ 36	$\frac{0.35}{36}$ 23	$\frac{0.22}{23}$ 10	$\frac{0.09}{10}$ 10	$\frac{0.03}{23}$ 23	$\frac{0.58}{60}$ 60
Чернозем типичный	Косимая степь	$\frac{0.70}{100}$ 51	$\frac{0.36}{51}$ 39	$\frac{0.27}{39}$ 24	$\frac{0.17}{24}$ 11	$\frac{0.08}{11}$ 2	$\frac{0.02}{2}$ 2	$\frac{0.58}{83}$ 83
Чернозем типичный	Агроценоз	$\frac{0.64}{100}$ 52	$\frac{0.33}{52}$ 48	$\frac{0.31}{48}$ 26	$\frac{0.17}{26}$ 10	$\frac{0.06}{10}$ 3	$\frac{0.02}{3}$ 3	$\frac{0.52}{81}$ 81
Чернозем обыкновенный	Некосимая степь	$\frac{1.03}{100}$ 50	$\frac{0.51}{50}$ 43	$\frac{0.44}{43}$ 24	$\frac{0.24}{24}$ 11	$\frac{0.12}{11}$ 2	$\frac{0.02}{2}$ 2	$\frac{0.92}{90}$ 90
Чернозем южный	Агроценоз	$\frac{0.22}{100}$ 39	$\frac{0.09}{39}$ 23	$\frac{0.05}{23}$ 13	$\frac{0.03}{13}$ 1	$\frac{0.00}{1}$ 0	$\frac{0.00}{0}$ 0	$\frac{0.21}{94}$ 94
Светло-каштановая	Целина	$\frac{0.77}{100}$ 55	$\frac{0.42}{55}$ 38	$\frac{0.29}{38}$ 25	$\frac{0.19}{25}$ 0	$\frac{0.00}{0}$ 4	$\frac{0.03}{4}$ 4	$\frac{0.44}{57}$ 57
Солонец солончаковый	Целина	$\frac{1.49}{100}$ 55	$\frac{0.83}{55}$ 32	$\frac{0.48}{32}$ 20	$\frac{0.30}{20}$ 6	$\frac{0.08}{6}$ 2	$\frac{0.03}{2}$ 2	$\frac{1.00}{67}$ 67

Было обнаружено, что в полностью замерзшей почве ( $t = -5^{\circ}\text{C}$ ) процессы минерализации ОВ также имели место, хотя абсолютные значения интенсивности выделения  $\text{CO}_2$  при отрицательной температуре были невысокими и составляли приблизительно 2–4% от  $PR_{min}$ . Исключением в зональном ряду почв являлся только чернозем южный, интенсивность дыхания которого при  $t = -5^{\circ}\text{C}$  была практически нулевой, что вполне согласуется с нашим предположением о недостатке органических и минеральных веществ для поддержания жизнедеятельности микробного сообщества этой почвы в таких экстремальных условиях. Самую высокую скорость выделения  $\text{CO}_2$  (в % от  $PR_{min}$ ) при отрицательных температурах, по сравнению с другими типами почв имела светло-каштановая почва.

В ходе проведенного модельного эксперимента было также обнаружено, что оттаивание почв после их полного промерзания (температура оттаивания составляла  $+10^{\circ}\text{C}$ ) вызывало резкий всплеск интенсивности выделения  $\text{CO}_2$ , в некоторых почвах сравнимый по величине со скоростью выделения  $\text{CO}_2$  при температуре  $+26^{\circ}\text{C}$  (60–94% от  $PR_{min}$ ) и значимо превышающий для большинства почв  $R_{min}$  при  $+21^{\circ}\text{C}$  (табл. 2). Отмеченное усиление процессов минерализации ОВ при оттаивании почв наблюдалось очень короткий период (3–4 часа), в течение которого, по-видимому, и происходило полное оттаивание почвы. Затем следовало резкое снижение скорости выделения  $\text{CO}_2$  до значений, соответствующих температуре инкубации, равной  $+10^{\circ}\text{C}$ .

Таблица 3

**Регрессионные зависимости между  $R_{min}$  и температурой почвы, коэффициенты корреляции ( $R$ ) и величина  $Q_{10}$  в почвах зонального ряда**

Почва	Ценоз	Уравнение регрессии		
		$\ln R_{min} = kt + b$	$Q_{10} = \exp 10k$	$R$
Дерново-слабоподзолистая	лесной	$0.12 T - 3.21$	3.22	0.99
Серая лесная	лесной	$0.12 T - 2.60$	3.35	1.00
Серая лесная	агроценоз	$0.11 T - 3.53$	3.06	0.97
Чернозем выщелоченный	агроценоз	$0.11 T - 2.91$	3.10	0.99
Чернозем типичный	косимая степь	$0.12 T - 3.29$	3.22	0.97
Чернозем типичный	агроценоз	$0.11 T - 3.22$	3.03	0.96
Чернозем обыкновенный	целинная степь	$0.12 T - 2.99$	3.39	0.98
Чернозем южный	агроценоз	$0.10 T - 4.46$	2.71	0.94
Светло-каштановая	целинная степь	$0.11 T - 3.00$	2.90	0.90
Солонец солончаковый	целинная степь	$0.13 T - 2.97$	3.82	0.97

Оценка связей между скоростью минерализации ОБ почв и ее температурой.

Расчеты показали, что для исследованных почв регрессионный коэффициент  $k$  в экспоненциальных уравнениях, описывающих зависимость  $R_{min}$  от температуры, имел близкие величины: 0.11–0.12. Величина коэффициента  $b$  изменялась от –2.60 до –5.04. Коэффициенты корреляции ( $R$ ) были высоки и значимы при  $\alpha < 0.05$  для всех почв, кроме каштановой и южного чернозема (табл. 3).

С целью получения количественной оценки изменения  $R_{min}$  с ростом температуры нами был подсчитан также температурный коэффициент  $Q_{10}$ . Для всех исследованных почв значения этого коэффициента имели близкие величины и варьировали от 2.71 до 3.82 (табл. 3). Минимальные значения этого коэффициента имели почвы агроценозов (2.71–3.10), а в солонцах величина  $Q_{10}$  была максимальной (3.82), что указывает на их высокую чувствительность к изменению температуры.

### Выводы

1. Потенциальная скорость минерализации ОБ в почвах зонального ряда широко варьировала: от 5.3 мг С/кг почвы/сут в черноземе южном (агроценоз) до 35.8 и 42.5 мг С/кг почвы/сут - в целинном солонце солончаковом и серой лесной почве под лесом. Корреляционные связи между  $PR_{min}$ , содержанием органического углерода и величиной рН были недостоверны.

2. Процессы минерализации ОБ почв не прекращались при их полном промерзании ( $t = -5^{\circ}\text{C}$ ), но скорость  $R_{min}$  была невысокой и составляла 0.2–6% от потенциальной скорости минерализации ОБ почв при  $26^{\circ}\text{C}$ .

3. При оттаивании почв ( $t = +10^{\circ}\text{C}$ ) после их полного промерзания было зафиксировано увеличение скорости выделения  $\text{CO}_2$  из почв, абсолютная величина которой в 2.5–7 раз превышала  $R_{min}$  при  $t = +10^{\circ}\text{C}$  до замораживания, а в некоторых случаях были сравнимы с интенсивностью выделения  $\text{CO}_2$  при  $21\text{--}26^{\circ}\text{C}$ .

4. Зависимость скорости минерализации ОБ почв от температуры почвы носила экспоненциальный характер и хорошо аппроксимировалась уравнением регрессии 1-го порядка:  $\ln R_{min} = kt + b$  ( $k = 0.11\text{--}0.12$ ;  $b = -2.6 \div -5.0$ ). Температурный коэффициент  $Q_{10}$  исследованных почв варьировал от 2.7 в черноземе южном до 3.8 в солонце. Целинные почвы были более чувствительны к изменению температуры по сравнению с их пахотными аналогами.

5. Среди изученных почв самым устойчивым к минерализации было органическое вещество черноземов: значения удельной скорости минерализации в них варьировали от 0.38 до 0.62 мг С/г  $C_{орг}$ /сут, в среднем составляя  $0.48 \pm 0.04$  мг С/г  $C_{орг}$ /сут. Во всех остальных почвах зонального ряда значения удельная скорость минерализации были в среднем в 2–3 раза выше, изменяясь в зависимости от типа почв от 1.06 мг С/г  $C_{орг}$ /сут в серой лесной почве под агроценозом до 2.03 мг С/г  $C_{орг}$ /сут – на солонце.

### Список литературы

1. Заварзин Г.А. Лекции по природоведческой биологии. – М.: Наука, 2004. – 348 с.
2. Семенов В. М., Иванникова Л. А., Кузнецова Т.В., Семенова Н. А., Тулина А.С. Минерализуемость органического вещества и углерод-секвестрирующая емкость почв зонального ряда // Почвоведение. – 2008. – № 7. – С. 819–832.
3. Семенов В. М., Иванникова Л. А., Семенова Н. А., Ходжаева А. К., Удадьцов С. Н. Минерализация органического вещества в разных по размеру агрегатных фракциях почвы // Почвоведение. – 2010. – № 2. – С. 157–165.
4. Lomander A., Kätterer T., Andren O. Carbon dioxide evolution from top- and subsoil as affected by moisture and constant and fluctuation temperature // Soil Biol. Biochem. – 1998. – Vol. 30, № 14. – P. 2017–2022.
5. Rustad L.E., Huntington T.G., Boone R.D. Controls on soil respiration: Implication for climate change // Biogeochemistry. – 2000. – Vol. 48. – P. 1–6.



6. Fung I.Y., Tucker C.J., Prentice K.C. Application of advanced very high resolution radiometer vegetation index to study atmosphere-biosphere exchange of CO<sub>2</sub> // *J. Geophys. Res.* – 1987. Vol. 93. – P. 2999–3015.
7. Kirschbaum M.U.F. Will changes in soil organic carbon act as a positive or negative feedback on global warming // *Biogeochemistry.* – 2000. – Vol. 48. – P. 21–51.
8. Raich J.W., Schlesinger W.H. The global carbon dioxide flux in soil respiration and its relationship to vegetation and climate // *Tellus.* – 1992. – Vol. 44B. – P. 81–89.
9. Raich J.W., Potter C.S., Bhagavatti D. Interannual variability in global soil respiration, 1980–94 // *Global change Biol.* – 2002. – Vol. 8. – P. 800–812.
10. Tjoelker M.G., Oleksyn J., Reich P.B. Modelling respiration of vegetation: evidence for a general temperature-dependent Q<sub>10</sub> // *Global Change Biology.* – 2001. – Vol. 7. – P. 223–230.
11. Курганова И.Н., Кудеяров В.Н. Оценка потоков диоксида из почв таежной зоны России // *Почвоведение.* – 1998. – № 9. – С. 1058–1070.
12. Лопес де Гереню В.О., Курганова И.Н., Розанова Л.Н., Кудеяров В.Н. Годовые потоки диоксида углерода из некоторых почв южно-таежной зоны России // *Почвоведение.* – 2001. – № 9. С. 1456–1469.
13. Kudeyarov V. N., Kurganova, I. N. 1998. Carbon dioxide emissions and net primary production of Russian terrestrial ecosystems // *Biol. Fertil. Soils.* – Vol. 27. – P. 246–250.
14. Lloyd J., Taylor J. A. On the temperature dependence of soil respiration // *Functional ecology.* – 1994. – Vol. 8. – P. 315–323.
15. Lopes de Gerenyu V.O., Kurganova I.N., Saprionov D.V. Carbon dioxide fluxes from arable soils as affected by temperature and moisture // *I World Congress on Conservation Agriculture, Extend Abstract, Madrid, 1-5 October, 2001.* – Vol. 2. – P. 109–113.
16. Perrin D., Laitat E., Yernaux M., Mezoesy Q., Aubinet M. Temporal and spatial changes in the soil CO<sub>2</sub> efflux in a mixed temperate forest (Vielsalm, Belgium) // *Comparative biochemistry and Physiology: SEB Abstracts, 2003.* – Vol. 134, № 3. – P. 191.
17. Kätterer T., Reichstein M., Andren O., Lomander A. Temperature dependence of organic matter decomposition: a critical review using literature data analyzed with different model // *Biol. Fertil. Soils.* – 1998. – Vol. 27. – P. 258–262.
18. Kirschbaum M.U.F. The temperature dependence of soil organic matter decomposition, and the effect of global warming on soil organic C storage // *Soil Biol. Biochem.* – 1995. – Vol. 27. – P. 753–760.
19. Kurganova I.N., Lopes de Gerenyu, Saprionov D.V. CO<sub>2</sub> Emissions from Russian South-taiga soils as affected by temperature and land use // *6-th International Carbon Dioxide Conference, Extended Abstracts, Sendai, Japan, October 1-5, 2001.* – Vol. 1. – P. 540–543.
20. Winkler J.P., Cherry R.S., Schlesinger W.H. The Q<sub>10</sub> relationship of microbial respiration in a temperate forest soil // *Soil Biol. Biochem.* – 1996. – Vol. 28. – P. 1067–1072.
21. Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследования физических свойств почв. – М.: Агропромиздат, 1986. – 415 с.
22. Ананьева Н.Д., Благодатская Е.В., Орлинский Д.Б., Мякшина Т.Н. Методические аспекты определения скорости субстрат-индуцированного дыхания почвенных микроорганизмов // *Почвоведение.* – 1993. – № 11. – С. 72–77.
23. Anderson J., Domsch K.H. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils // *Soil Biol. Biochem.* – 1978. – Vol. 10. – P. 215–221.
24. Благодатская Е.В., Ананьева Н.Д., Мякшина Т.Н. Характеристика состояния микробного сообщества по величине метаболического коэффициента // *Почвоведение.* – 1995. – № 2. – С. 205–210.
25. Amthor J.S. Plant respiratory responses to the environmental and their effects on the carbon balance. – *Plant-Environment interactions* (eds. R.E. Wilkinson, Marcel Decker). New York, 1994. – P. 501–554.
26. Pavelka M., Acosta M., Marek M.V., Kutsch W., Janous D. Dependence of the Q<sub>10</sub> values on the depth of the soil temperature measuring point // *Plant and Soil.* – 2007. – Vol. 292, № 1-2. – P. 171–179.
27. Rovira P., Jorba M., and Romanyà J. Active and passive organic matter fractions in Mediterranean forest soils // *Biol. Fert. Soils.* – 2010. – Vol. 46. – P. 355–369.

## EVALUATION OF ORGANIC MATTER MINERALIZATION RATE IN MAIN SOIL TYPES OF RUSSIAN EUROPEAN PART UNDER DIFFERENT TEMPERATURE REGIMES

**V.V. Kaganov<sup>1</sup>**  
**I.N. Kurganova<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Centre for Problems of Ecology and Productivity of Forests, RAS  
 Profsoyuznaya St., 84/32, Moscow, 117810, Russia

E-mail: saganss@rambler.ru

<sup>2</sup>Institute of Physicochemical and Biological Problems in Soil Science RAS  
 Institutskaya, 2, Pushchino, Moscow Reg., 142290, Russia

E-mail: ikurg@mail.ru

The mineralization rate of soil organic matter (SOM) in the main types of soils of the European part of Russia was studied under the laboratory conditions at optimal moisture content (65% of their water hold capacity, WHC) and different temperatures modelling the year-round climatic cycle. The rate of SOM mineralization ( $R_{\min}$ ) has been shown to decline with the different rate when the temperature ( $t$ ) decreased. The deceleration of  $\text{CO}_2$  emission was the most significant (41-61%), when the soil temperature changed from  $+26^\circ\text{C}$  to  $+21^\circ\text{C}$ . Velocity-temperature curve was described by the exponential function and approximated by the first-order equation:  $\ln R_{\min} = kt+b$ . The temperature coefficient ( $Q_{10}$ ) in the soils under consideration varied from 2.7 to 3.8. The agricultural soils were characterized by the lower thermoesthesia compared with their natural counterparts and had the smallest  $Q_{10}$  values. It has been found that the SOM mineralization took place under complete freezing conditions ( $t = -5^\circ\text{C}$ ) and the  $R_{\min}$  reached 0.2-6% of emission rate of  $\text{CO}_2$  at  $+26^\circ\text{C}$ . We registered the sharp increase of  $\text{CO}_2$  emission rate during the thawing of soils after the full frost penetration. Its rate was 2.5-7 times higher than  $R_{\min}$  at  $t = +10^\circ\text{C}$  before freezing of soil, and sometimes was comparable with the  $\text{CO}_2$  emission rate at  $+21$ - $26^\circ\text{C}$ .

Key words: mineralization of soil organic matter,  $\text{CO}_2$  emission rate, microbial biomass, temperature coefficient  $Q_{10}$ , freezing-thawing of soils.



## ОЦЕНКА ГУМУСИРОВАННОСТИ ПОЧВ ПУТЕМ ОБРАБОТКИ ИХ ЦИФРОВЫХ ФОТОИЗОБРАЖЕНИЙ

**С.Ю. Булыгин**<sup>1</sup>  
**Д.И. Бидолах**<sup>2</sup>  
**Ф.Н. Лисецкий**<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Белгородская государственная сельскохозяйственная академия, Россия 308503, Белгородская область, Белгородский район, п. Майский, ул. Вавилова, 1

E-mail: s.bulygin@rambler.ru

<sup>2</sup> Бережанский агротехнический институт Национального университета биоресурсов и природопользования Украины, Украина 47501, Тернопольская обл., г. Бережаны, ул. Академическая, 20

E-mail: office@bati.ber.te.ua

<sup>3</sup> Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85

E-mail: liset@bsu.edu.ru

Предложена методика экспресс-анализа гумусированности почв, основанная на сравнении окраски (цвета) почвы с эталонными образцами с помощью цифровой фотокамеры и компьютерной программы. Представлены результаты калибровочных работ и описан оригинальный принцип действия программы Land damage expert, предназначенной для обработки результатов фотосъемки.

Ключевые слова: гумус, окраска почв, цифровая камера, цифровая фотография, компьютерный экспресс-анализ.

### Введение

Одним из наиболее важных морфологических признаков почвы является ее окраска (цвет). Цвет почвы используют для выявления диагностических (типобразующих) горизонтов, что важно для классификации почв, и он позволяет судить о наличии и количестве веществ в почвенной массе.

Известно, что цвет почв зависит не только от химического состава [1], в частности от гумусированности [2], но и физических свойств. Примечательно, что при рассмотрении широкого зонального ряда почв (от дерново-подзолистых до темно-каштановых) [3], выявлена тесная корреляционная связь содержания гумуса в верхнем слое почвы и коэффициента микроагрегированности.

Человеческое восприятие цвета зависит от физиологических особенностей глаз, накопленного опыта, окружающей обстановки и особенностей обработки нервных импульсов в головном мозге. Поэтому возникает субъективный, психологический аспект восприятия цвета и его оценка колеблется между несколькими наблюдателями [4]. Субъективизм визуального определения цвета почв в полевых условиях (при разной освещенности, влажности почвы и др.) частично преодолевается путем применения эталонных шкал. Стандарт цветowych таблиц, например шкала Манселла (Munsell Color Company, 1994), разработан на основе трех критериев (измеряемых величин), определяющих окраску почвы (тона, интенсивности и оттенка).

Перспективным направлением исследований, направленных на поиск связи цвета почв с их свойствами, может считаться дистанционное зондирование земной поверхности [5]. Тем не менее, несмотря на преимущества аэрокосмических методов [6], их широкое использование для определения гумусированности почв ограничено погодными условиями и экранированием почвы растительным покровом [7]. Это создает необходимость использования портативного прибора, с помощью которого можно было бы определить спектральные характеристики почв в полевых условиях даже при условии покрытия почвы растительностью.

По цвету почв возможно определение содержания гумуса с использованием

спектрофотометрических методов [8, 9, 10]. Но спектрофотометры не приобрели широкого использования в практике ввиду их высокой стоимости и неудобности применения в полевых условиях [11]. Именно поэтому, внимание исследователей все более обращается к более практичным приборам, например к цифровым фотоаппаратам [12]. Современные цифровые фотоаппараты можно рассматривать как новый полевой прибор, который дает возможность проводить оперативный анализ цвета почв с использованием количественных характеристик [13].

Цель статьи состояла в разработке методики определения содержания гумуса в почве с использованием результатов цифровой фотосъемки. Задачами исследований определены:

- разработка методики отбора и подготовки почвенных образцов для фотографирования;
- разработка регламентов технологии фотографирования почвенных образцов фотоаппаратом;
- создание алгоритма интерпретации полученных результатов и определения содержания гумуса в почве с помощью компьютерной программы.

### Методы исследования

При разработке любой методики исследований нужно определиться с такими составляющими, как: «нулевая точка» или эталонный образец; сенсор или измерительный блок; блок обработки, преобразования и индикации результатов. В качестве эталона для определения баланса цвета почвы можно использовать стандартный лист бумаги белого цвета для офисной техники (80 г/м<sup>2</sup>, белизна 80%) в виду того, что в компьютерной программе цвет определяют, исходя из комбинации трех составляющих: красной (*R*), зеленой (*G*) и синей (*B*), а комбинация максимальных значений *RGB* составляет белый цвет. В случае использования эталонных образцов иных цветов возможно возникновение ошибок, связанных с недостаточностью или частотной неравномерностью освещения образца, а также ошибками цифрового фотоаппарата. Съемку проводили фотоаппаратом Olympus C350 (максимальный размер снимка достигает 2048×1536 пикселей).

Эмпирическую основу исследования составили 200 почвенных образцов, в каждом из которых определено содержание гумуса по стандартной методике [14]. Для фотографирования почвенные образцы высушивали до воздушно-сухого состояния и просеивали через сито с диаметром ячеек 1 мм.

В целях определения зависимости цвета почвы от содержания гумуса проводили калибровочные исследования, для осуществления которых было спроектировано и изготовлено специальное лабораторное оборудование. В полевых условиях освещение почвенного образца это изменчивая величина, зависящая от погодных условий, местоположения и времени измерений. В этой связи был организован комплекс исследований для определения зависимости интенсивности цвета почв и эталонного образца от интенсивности освещения. Эксперименты проводили в закрытом помещении с искусственным и регулируемым освещением. Для воссоздания природного освещения образцов почвы использовали электрические лампы накаливания общего назначения (Б 230-240-75), которые подключали к лабораторному трансформатору, с помощью которого изменяли их световой поток и частотный спектр облучения. Искусственное освещение образцов лампами изменяли в пределах от 0 до 50–60 лк. Также во время съемок использовали вспышку фотоаппарата Olympus C350. Фотоаппарат на штативе устанавливали таким образом, чтобы образец не оказался в тени от штатива или иных преград. Расстояние между почвенным образцом и объективом фотоаппарата составляло 60 см.

Фотографирование опытного образца почвы и эталона проводили на одном снимке, поскольку при их отдельной съемке фотоаппарат в автоматическом режиме совершает коррекцию, вследствие чего теряется воспроизведение результатов измерений. Поэтому для проведения съемки почвенные образцы в бюксах размещали на листе белой бумаги.



При проведении калибровочных исследований экспериментально было установлено, что фотографирование образцов можно проводить только в том случае, когда интенсивность составляющих RGB эталона превышает 180 единиц. При этом разница между составляющими цвета (по каналам RGB) не должна превышать 10%. Такое освещение образца достигалось при использовании вспышки фотоаппарата независимо от светового потока ламп накаливания, что можно объяснить функцией автоматической настройки фотоаппарата «баланс белого», которая при использовании вспышки определялась однозначно.

Известно, что цифровой фотоаппарат способен автоматически проводить коррекцию полученных данных, исходя из расстояния до объекта, баланса его цветов, контрастности и др. Не у всех существующих цифровых фотоаппаратов имеется возможность установки всех параметров съемки в ручном режиме, к тому же возникают дополнительные требования к квалификации исполнителя. Поэтому методику разрабатывали, считая, что фотоаппарат работает в автоматическом режиме.

### Результаты и их обсуждение

Обработку, индикацию и интерпретацию результатов предлагается осуществлять с помощью компьютера. Для проведения калибровочных исследований был разработан программный комплекс Land damage expert (LDE), который рекомендуется применять для проведения измерений. Программа для ПЭВМ написана на языке программирования Borland Delphi 7 и ориентирована на использование под руководством операционных систем Microsoft Windows NT, 2000, XP, Vista. Рекомендованные аппаратные требования для работы программы: процессор Pentium III 500 и выше, оперативная память от 256 Mb (133), 30 Mb свободного дискового пространства на винчестере, допускается использование интегрированной видеокарты. Структурно программа LDE состоит из блоков ввода информации, преобразования данных с фотографии в цифровой код, статистической обработки данных и блока сравнения. Блок ввода информации отвечает за выбор необходимого фотоснимка почвенного образца и распознавания участка почвы и эталона на снимке. Внешний вид рабочего окна программы представлен на рисунке 1.

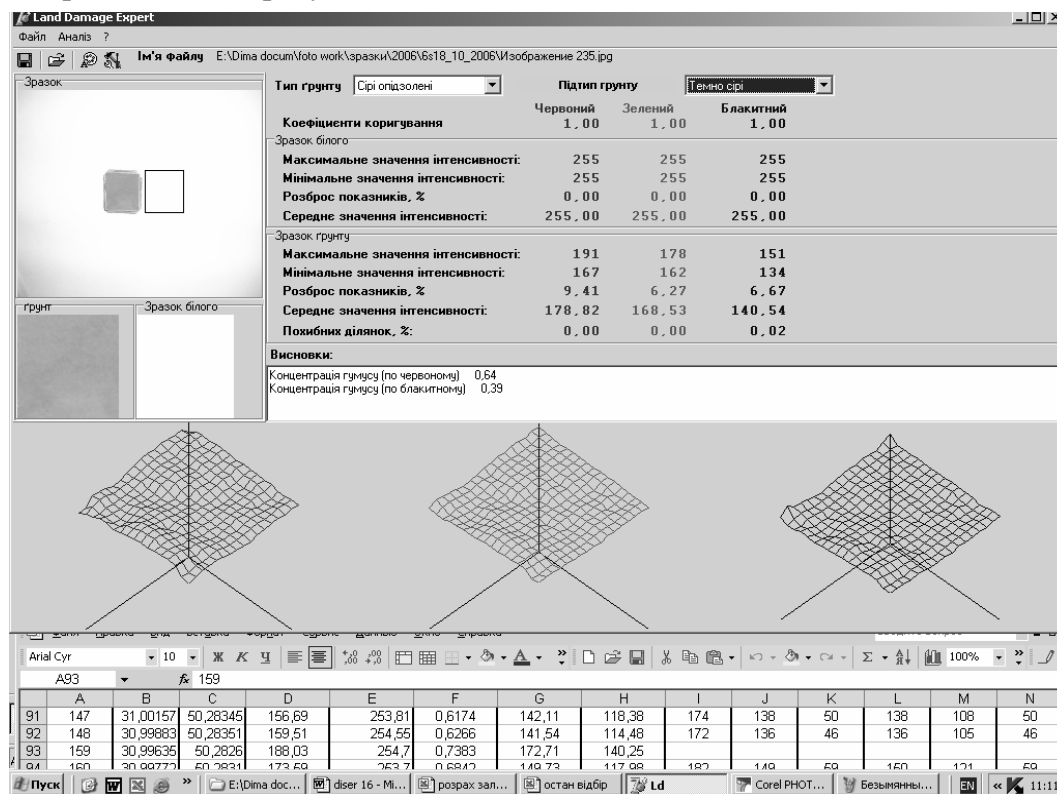


Рис. 1. Рабочее окно программы Land damage expert



Сопоставление почвы и эталона можно провести и в ручном режиме с помощью механического манипулятора (мышь), левая кнопка которой используется для обозначения участка опытного образца почвы, а правая – для выбора области эталона. Отмеченные участки также отображаются в рабочем окне программы для визуального отслеживания в увеличенном режиме загрязнения почвы или эталона инородными компонентами. При использовании программы LDE для определения содержания гумуса непосредственно в полевых условиях разработана возможность сохранения результатов в файлах с расширением RTF, XLS или в иных специализированных форматах. Сохранение фотографий почвенных образцов может быть использовано для потребностей оперативного мониторинга почв.

Блоки введения данных и статистической обработки предназначены для определения значений RGB у изображений почвы и эталона соответственно, а также построения графиков интенсивности каналов цвета. Большинство цифровых фотоаппаратов сохраняют графическую информацию в двух основных форматах TIFF и JPEG, но, последний используется чаще, так как позволяет сохранять фотографические изображения высокой степени сжатия (до определенного уровня компрессии потери информации почти незаметны, зато размер файла получается сравнительно небольшой).

При сжатии данных по схеме JPEG происходит преобразование блоков изображений в реальном цвете размером  $8 \times 8$  пикселей в набор уровней яркости и цветности. Для каждого блока используется двумерное дискретное преобразование Фурье, в результате чего получают набор из 64 коэффициентов, которые представляют этот блок. Программный комплекс LDE адаптирован для работы с файлами в указанных форматах, но для проведения анализа блок ввода данных обязательно трансформирует файл изображения в формат TIFF, для которого цвет каждого пикселя определяется отдельно.

Дополнительная функция в блоке статистической обработки позволяет исключить ошибочные участки, которые могут появиться вследствие плохой подготовки образцов до фотографирования. Участки почвы, интенсивность цвета которых отличается от среднего цвета, указанного оператором, отсеиваются и не учитываются в дальнейших расчетах. Предусмотрена возможность выведения предупреждающих сообщений, если превышен предел, установленного оператором процента ошибочных участков.

Блок сравнения используется для выдачи результата, исходя из интенсивности освещения среднего приведенного значения показателя RGB почвы и эталона и содержания гумуса, установленного аналитическим методом для конкретного вида почвы. В качестве приведенного значения RGB почв принимали те величины интенсивности цветов, которые должны быть при максимальной белизне эталона (значения по каналам RGB 255).

Зависимости между интенсивностью составляющих цвета почв и их гумусированностью определяются корреляционно-регрессионным анализом для каждого отдельного подтипа почв по образцам с известным содержанием гумуса.

В наших исследованиях использованы образцы почв разных типов и с разным содержанием гумуса. Полученные результаты свидетельствуют, что существует прямая зависимость между цветом почвы и содержанием гумуса в ней. При этом для красной составляющей цвета коэффициент корреляции варьировал в пределах 0.986–0.996. Аналогично для синей и зеленой составляющей цвета этот коэффициент соответствовал значениям 0.951–0.998 и 0.745–0.989 соответственно в пределах одного подтипа почв.

К примеру, зависимость интенсивности наиболее информативной – красной составляющей цвета темно-серых лесных почвах от содержания гумуса в них (рис. 2) имеет вид:

$$R = 130.86 H^{-0.3981}, r = 0.85,$$

где  $R$  – приведенное значение интенсивности красной составляющей цвета почвы;  $H$  – содержание гумуса, %.

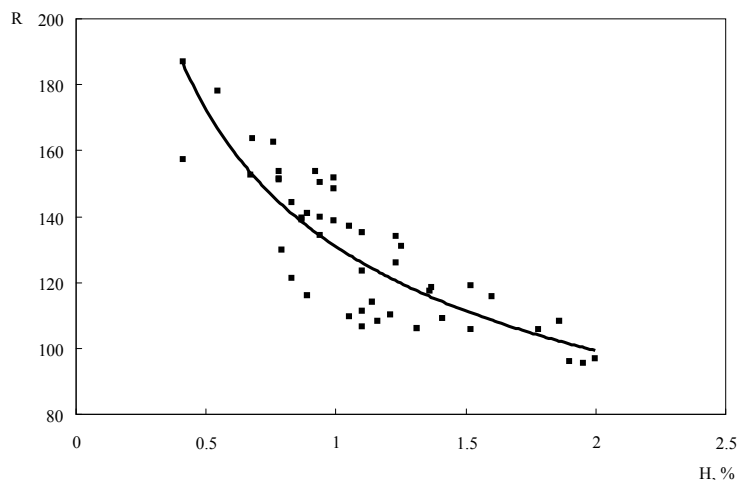


Рис. 2. Зависимость между приведенным значением интенсивности красной составляющей цвета почв (R) и содержанием гумуса (H, %).

Обоснованные по эмпирическим данным и аппроксимированные математические зависимости служат аналитической основой для компьютерной программы *LDE*. По результатам исследований получен декларационный патент на полезную модель [15]. Для обработки и сертификации методики определения гумуса в почвах по выше изложенным принципам и алгоритму нужно получить для отдельных подтипов почв соответствующие статистически обоснованные зависимости, что требует большого количества почвенных образцов с известным содержанием гумуса. Также описанную методику можно использовать для массового определения количества гумуса для большого количества образцов в пределах одного подтипа почв. В этом случае, для части образцов проводят аналитическое определение количества гумуса в лабораторных условиях, а для остальных образцов гумус определяют по уравнениям зависимости для данного подтипа почв. Как показывают новые исследования [11, 16], использование цифровой камеры как полевого аналитического инструмента перспективно не только для определения окраски почв и содержания органического вещества, но и для выявления оксидов железа и гранулометрического состава.

### Выводы

1. Доказана возможность и целесообразность использования цифровых фотоаппаратов для определения содержания гумуса в почвах по их окраске.
2. Предложена оригинальная методика определения содержания гумуса в почвах с помощью цифрового фотоаппарата.
3. Предложена прикладная компьютерная программа *Land damage expert* для обработки данных, полученных с помощью цифрового фотоаппарата, с целью определения содержания гумуса в почвенных образцах.

### Список литературы

1. Карманов И.И. Спектральная отражательная способность и цвет почв, как показатели их свойств. – М.: Колос, 1974. – 351 с.
2. Михайлова Н.А., Орлов Д.С. Оптические свойства почв и почвенных компонентов. – М.: Наука, 1986. – 117 с.
3. Bulygin S.Yu., Lisetskii F.N. Aggregate composition of soils, its assessment and monitoring // *Eurasian Soil Science*. – 1996. – Vol. 29, № 6. – P. 707–711.
4. Kevin O'Donnell T., Keith W. Goynes, Randall J. Miles, Claire Baffaut, Stephen H. Anderson, Kenneth A. Sudduth. Identification and quantification of soil redoximorphic features by digital image processing // *Geoderma*. – 2010. – Vol. 157. – P. 86–96.
5. Шатохин А.В., Ачасов А.Б. Использование современных технологий при картографировании почвенного покрова Северной Донецкой Степи // *Почвоведение*. – 2005. – № 7. – С. 790–798.
6. Дистанционное зондирование: количественный подход / Дейвис Ш.М., Ландгребе Д.А., Филипс Т.Л. и др. – М.: Недра, 1983. – 414 с.

7. Зборищук Ю.Н. Дистанционные методы инвентаризации и мониторинг почвенного покрова. – М.: Изд-во МГУ, 1992. – 86 с.
8. Виноградов Б.В. Дистанционная индикация содержания гумуса в почвах // Почвоведение. – 1981. – № 11. – С. 114–123.
9. Садовников Ю.Н., Орлов Д.С. Спектрофотометрический метод характеристики почв, почвенной окраски и количественные закономерности отражения света почвами // Агрохимия. – 1978. – № 4. – С. 133–149.
10. Шатохин А.В., Ачасов А.Б., Загородня Л.О. Зв'язок вмісту вуглецю в ґрунтах Лісостепу і Степу України з їх спектральними характеристиками // Агрохімія і ґрунтознавство. – 1998. – Вып. 59. – С. 25–31.
11. Levin N., Ben-Dor E., Singer A. A digital camera as a tool to measure colour indices and related properties of sandy soils in semi-arid environments // International Journal of Remote Sensing. – 2005. – Vol. 26, Iss. 24. – P. 5475–5492.
12. Gutschick V. Should you use a digital camera in your research? // Bulletin of the ecological society of America. – 2002. – Vol. 83, № 3. – P. 14–18.
13. Пузаченко Ю.Г., Пузаченко М.Ю., Козлов Д.Н., Алещенко Г.М. Анализ строения почвенного профиля на основе цифровой цветной фотографии // Почвоведение. – 2004. – № 2 – С. 133–146.
14. Методи аналізів ґрунтів і рослин / За ред. С.Ю. Булигіна та ін. – Харків: ІГА, 1999. – С. 13–14.
15. Булигін С.Ю., Ачасов А.Б., Бідолах Д.І. Барвінський А.В., Ачасова А.О., Гайбура Н.А., Опришко О.О. Спосіб визначення вмісту гумусу в ґрунті. Деклараційний патент на корисну модель 20040604549; 11.06.2004; 17.01.2005; 17.01.2005; Бюл. №1.
16. Viscarra Rossela R.A., Fouada Y., Waltera C. Using a digital camera to measure soil organic carbon and iron contents // Biosystems Engineering. – 2008. – Vol. 100., Iss. 2. – P. 149–159.

## EVALUATION OF SOIL HUMUS CONTENT BY TREATMENT OF THEIR DIGITAL PHOTOGRAPHIC IMAGES

**S.Y. Bulygin**<sup>1</sup>  
**D.I. Bidolah**<sup>2</sup>  
**F.N. Lisetskii**<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Belgorod State Agricultural Academy  
Vavilova St., 1, Mayskiy, Belgorod Distr.,  
Belgorod Reg., 308503, Russia

E-mail: s.bulygin@rambler.ru

<sup>2</sup> Berezhanıy Agro-Technical Institute,  
National University of Life and  
Environmental Sciences of Ukraine  
Academic St., 20, Berezhanıy, Ternopil Reg.,  
47501, Ukraine

E-mail: office@bati.ber.te.ua

<sup>3</sup> Belgorod State National Research University  
Pobedy St., 85, Belgorod, 308015, Russia

E-mail: liset@bsu.edu.ru

Methods of express analysis of the soil humus content, based on the comparison of the soil color and standard samples with the help of the digital camera and computer program are set forward in this paper. Calibration results are presented and the original principle of Land damage expert program, designed for digital picture processing is described.

Key words: humus, soil color, digital camera, digital photography, computer-express analysis.



## МИКРОЗОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОФИЛЬНОГО И ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ГУМУСА В ПОЧВАХ СКЛОНА

**Л.Г. Смирнова**  
**Ю.Г. Чендев**  
**Л.Л. Новых**  
**П.А. Украинский**  
**И.Е. Новых**

*Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Россия  
308015, г. Белгород,  
ул. Победы, 85  
E-mail: lidya.smirnova@yandex.ru*

Изучено профильное распределение гумуса в черноземах в условиях склона 1-3° и 3-5°. Установлено, что в верхних слоях (0-30 см) в почвах изучаемых микрозон варьирование признака незначительное и небольшое. В нижних слоях неоднородность возрастает, и степень варьирования средняя и высокая. Мощность гумусового горизонта на склоне 1-3° соответствует среднемощным почвам, а в условиях 3-5° – маломощным. Пространственное распределение показателя в условиях склона 1-3° равномерное, и основная территория контура представлена малогумусными аналогами (от 4 до 6%), составляющими 84% площади. На территории склона 3-5° контуры малогумусных почв занимают 47%, а слабогумусированные почвы (менее 4%) составляют 53%. Неоднородность по содержанию гумуса более выражена в условиях склона 3-5°, так как внутри контура в результате более интенсивных эрозионных процессов происходит перераспределение почвенной массы по микроложбинам.

Ключевые слова: агроландшафт, склоновая микрозональность, агроландшафтный контур, содержание гумуса, эрозионные процессы, неоднородность почвенного покрова.

### Введение

В Белгородской области более половины площадей пахотных земель находятся на склонах различной крутизны. Современное земледелие, основанное на экологическом агроландшафтном принципе, требует дифференцированного использования склоновых агроландшафтов. Для этого территории склонов разделяют в соответствии с вещество-энергетическими потоками, на агроландшафтные контуры. Внутри каждого из них выделяют территориально-экологические ниши [1], или «самостоятельные» территориальные комплексы [2], в которых относительно обособленно функционируют режимы: пищевой, водный, тепловой и другие. Экологическое состояние склоновых земель определяется рядом показателей. Среди них особое место занимает содержание гумуса в почвах. Для лучшего роста и развития растений в агроландшафтах необходимо его повышенное содержание. Гумус является важным показателем плодородия почвы и играет большую роль в питании растений, оказывает положительное влияние на структуру почвы, ее влагоемкость и тепловой режим. В условиях склоновых агроландшафтов пространственное распределение гумуса в почвах имеет определенные особенности, которые необходимо учитывать при выделении однородных территориальных ниш. Установление границы перехода почв из слабо- в среднеэродированные является важным аспектом при выделении контурных линейных элементов [3], разделяющих пространство склона на агроландшафтные контуры.

В связи с этим, целью данных исследований являлось выявление микрозональных особенностей профильного и пространственного распределения гумуса в почвах склона

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- 1) провести оценку профильного распределения гумуса почв в условиях склона 1-3° и 3-5°.
- 2) выявить пространственную неоднородность содержания гумуса в почвах склона с использованием ГИС-технологий.

### Методы исследований

Исследуемый участок находится на территории ОПХ «Белгородское». Данное хозяйство расположено в северной части Белгородского района Белгородской области. Почвы представлены черноземами типичными среднесильными среднегумусными слабо- и среднесмытыми. Гранулометрический состав почв тяжелосуглинистый. Почвообразующей породой являются лессовидные суглинки, что является характерным для большей части Среднерусской возвышенности. Они подстилаются белесыми песками [4].

При проведении работы были использованы методы: научно-поисковый, полевой, картографический, математический, статистический. Образцы почв отбирались в мае 2011 г. В ходе подготовительных исследований был выбран склон южной экспозиции. При построении гипсометрического профиля склон был разделен на микрозоны. Для изучения поставленных вопросов использовались микрозона А, соответствующая участку склона крутизной 1–3°, и микрозона В, включающая участок склона крутизной 3–5°. На склоне было заложено 5 линий по 15 скважин. Скважины на склоне 1–3° располагались через 20 метров; на склоне 3–5° – через 15 метров. Глубина скважин – 90 см. Отбор образцов проводился по глубинам 0–30 см; 30–60 см; 60–90 см.

Подготовка почвы к определению гумуса осуществлялась по стандартной методике. Определение содержания гумуса по методу Тюрина проводилось в соответствии с ОСТ 46 47–76 [5].

Для более наглядного отображения особенностей рельефа исследуемой территории была построена его трехмерная модель. Для решения этой задачи использовали программные средства ArcGIS. Так как горизонталь топографической карты достаточно подробно воспроизводит рельеф местности, то исходными данными для построения цифровой модели рельефа (ЦМР) являлись тщательно оцифрованные горизонталь, высотные отметки и тальвеги топографической карты масштаба 1:1000 с сечением горизонталей через 0.5 м. В процессе векторизации каждая горизонталь представляется множеством точек с общей координатой  $Z$  – высота, и с координатами  $X$ ,  $Y$ , отображающими положение каждой точки на местности. Расстановка точек на горизонталях подчинялась правилу минимального количества точек, необходимых для описания кривизны горизонталей. Далее, используя специальные возможности приложения ArcGIS, строили трехмерную модель рельефа. В итоге была получена тематическая карта, которая за счет технологий автоматизированной дифференциации склоновых агроландшафтов применима для обоснования пространственного распределения гумуса.

При изучении профильного распределения гумуса в почвах был использован метод заложения почвенных разрезов по склону. Этот метод хорошо выявляет коррелятивную зависимость почвенного покрова от топографии местности. В каждой микрозоне были заложены почвенные разрезы, в которых описывались почвенные профили, с указанием основных морфологических параметров. Затем отбирались образцы, в которых определялись агрохимические показатели. Для выявления достоверных изменений содержания гумуса в почвах исследуемых микрозон применяли однофакторный и двухфакторный дисперсионный анализ [6]. Для анализа количественных данных были рассчитаны главные статистические параметры:  $x$  – среднее;  $S$  – стандартное отклонение;  $V$  – коэффициент вариации.

### Результаты исследований и их обсуждение

Анализ литературы показывает, что в целинных почвах Центрально-Черноземного региона распределение органического вещества в целом характеризуется равномерно аккумулятивным типом. Однако детальный анализ кривой распределения подтверждает, что в пределах профиля тип распределения гумуса неодинаков: в верхней части (гор. А) он регрессивно-аккумулятивный, в средней части равномерно-аккумулятивный, в нижней – вновь регрессивно-аккумулятивный. В соответствии с этим меняется градиент падения содержания гумуса в различных частях профиля. В верхних слоях его величина максимальна, в нижних – минимальна. Отмеченные раз-



личия позволяют говорить о неадекватности процессов гумусообразования и гумусо-накопления и их роли в различных частях почвенной толщ. Вышеуказанное несоответствие может быть объяснено перераспределением гумусовых веществ вследствие их водной миграции в профиле черноземов [7].

Количественную оценку профильного распределения гумуса в почвах склона по микрозонам проводили с помощью статистических показателей. Основным критерием является вариация, т.е. изменчивость наблюдений, которые характеризуют любое свойство почв или почвенного покрова. Данные наблюдений формируют вариационный ряд, который оценивается на основе общего числа определений, их размаха, наибольшего и наименьшего значений, набора средних величин, исчисленных как среднее арифметическое.

В табл. 1 представлены статистические показатели, характеризующие содержание гумуса в почвах на склоне крутизной 1–3°

Таблица 1

**Статистические характеристики содержания гумуса (%) в почвах в агроландшафтном контуре склона крутизной 1-3°**

Показатели	Глубины		
	0–30 см	30–60 см	60–90 см
Объем выборки	38	38	38
Среднее значение	4.52	3.18	1.82
Стандартное отклонение	0.48	0.82	0.61
Ошибка среднего	0.07	0.13	0.098
Коэффициент вариации, %	11	26	33
Минимальное значение	3.20	1.31	0.89
Максимальное значение	5.30	4.63	3.74
Доверительный интервал 95%	4.36–4.68	2.90–3.45	1.63–2.02

Анализ данных таблицы свидетельствует, что в верхнем 0–30 см слое почвы варьирование содержания гумуса незначительное, что подтверждает коэффициент вариации (11%). Это связано с тем, что в этом слое представлены более однородные горизонты: гумусовый (A) и пахотный ( $A_{пax}$ ). Мы подсчитали долю тех или иных значений содержания гумуса от общего количества проб. Оказалось, что 18% проб содержат гумус в диапазоне от 5.0 до 5.99%, 66% - в диапазоне от 4.0 до 4.99 % и 16% значений находятся в интервале 3.0–3.99 %. В целом 84% значений относятся к малогумусным почвам, остальные 16% – к слабогумусированным аналогам (табл. 2).

Таблица 2

**Доля проб почвы с различным содержанием гумуса в изученных микрозонах**

Диапазон содержания гумуса, %	Доля показателя, %					
	Склон 1-3°			Склон 3-5°		
	0-30 см	30-60 см	60-90 см	0-30 см	30-60 см	60-90 см
5.99–5.0	18	-	-	-	-	-
4.99–4.0	66	18	-	47	7	-
3.99–3.0	16	44	-	50	18	-
2.99–2.0	-	26	40	3	35	15
1.99–1.0	-	12	53	-	35	55
Менее 1.0	-	-	7	-	5	30

На глубине 30–60 см среднее содержание гумуса падает до 3.18% (см. табл. 1). Отмечается средняя степень варьирования, что подтверждает коэффициент вариации (26%). Ошибка среднего выше, чем в верхних горизонтах. Такая неоднородность вызвана неодинаковой мощностью гумусового слоя. Доверительный интервал расширяется до 2.90–3.45%. Повторяемость значений содержания гумуса в диапазоне от 4 до 4.99% невелика и составляет 18% от общего числа наблюдений (табл. 2). Максимальное количество показателей содержания гумуса – 70% – находится в диапазоне от 3.99 до 2.0%. Лишь 12% показателей находятся в интервале от 1.99 до 1.0%.

На глубине 60-90 см среднее содержание гумуса падает до 1.35%. В этом слое варьирование признака среднее. Коэффициент вариации составляет 33% (табл. 1). Такое варьирование происходит из-за того, что на этой глубине вскрываются различные генетические горизонты: от гумусового горизонта с пятнами переходного (АВ) до почвообразующей породы (С). Наибольшее количество значений содержания гумуса – 93% – в слое 60–90 см находится в диапазоне от 2.99 до 1.0%. В диапазоне менее 1% содержание гумуса встречается всего у 7% показателей (табл. 2).

Результаты оценки значимости различий между средними на глубинах 0–30, 30–60 и 60–90 см на склоне 1–3° показывают, что разница между показателями существенная (табл. 3). Таким образом, с вероятностью 95% можно утверждать, что среднее содержание гумуса в слое 0–30 см достоверно выше, чем в слоях 30–60 см и 60–90 см, а также, что среднее содержание гумуса в слое 30–60 см достоверно выше, чем в слое 60–90 см.

Таблица 3

**Оценка значимости различий между средними по критерию наименьшей существенной разности (НСР<sub>0,05</sub>)**

Микрозона	Глубина, см		n <sub>1</sub>	n <sub>2</sub>	Среднее содержание гумуса, %		НСР	d	Вывод
					$\bar{X}_1$	$\bar{X}_2$			
А – склон 1-3°	0-30	30-60	38	38	4.52	3.18	0.38	1.34	Сущ*.
	0-30	60-90	38	38	4.52	1.82	0.26	2.7	Сущ.
	30-60	60-90	38	38	3.18	1.82	0.38	1.36	Сущ.
В – склон 3-5°	0-30	30-60	35	35	3.93	2.41	0.56	1.52	Сущ.
	0-30	60-90	35	35	3.93	1.35	0.36	2.58	Сущ.
	30-60	60-90	35	35	2.41	1.35	0.50	1.06	Сущ.

Примечание:

\*сущ. – разница между показателями существенная.

Таким образом, в агроландшафтном контуре склона крутизной 1–3° в слое 0–30 см наблюдается незначительное варьирование содержания гумуса. С глубиной содержание гумуса достоверно уменьшается за счет сокращения доли образцов с содержанием выше 4%. Пространственное распределение показателя равномерное и основная территория контура представлена малогумусными аналогами (от 4.0 до 6.0%). Содержание гумуса в верхнем горизонте ниже 4.0 % характерно для среднесмытых почв, которые не типичны для данного участка.

Экологические условия формирования почв на склоне крутизной 3–5° отличаются по многим параметрам, и большинство исследователей указывает на данную зависимость [8,9,10, 11,12]. В табл. 4 представлены статистические характеристики содержания гумуса в исследуемых почвах на склоне 3–5°.

Таблица 4

**Статистические характеристики содержания гумуса (%) в почвах в агроландшафтном контуре склона крутизной 3–5°**

Показатели	Глубины		
	0–30 см	30–60 см	60–90 см
Объем выборки	35	35	35
Среднее значение	3.93	2.41	1.35
Стандартное отклонение	0.48	0.99	0.55
Ошибка среднего	0.09	0.99	0.98
Коэффициент вариации, %	16	42	40
Минимальное значение	2.15	0.91	0.56
Максимальное значение	5.03	4.38	2.85
Доверительный интервал 95%	3.73-4.14	2.08-2.73	1.17-1.53



Анализ таблицы показывает, что в общем и целом на склоне 3–5° закономерности распределения гумуса в профиле почвы аналогичны описанным ранее для склона 1–3°: наблюдается падение среднего содержания гумуса вниз по профилю, нарастает варьирование от невысокого до высокого, на глубине 30–60 см обнаруживается самый широкий доверительный интервал. Однако есть и некоторые отличия: если на склоне 3–5° варьирование содержания гумуса вниз по профилю закономерно возрастало, то в данном случае оно практически одинаково на глубинах 30–60 см и 60–90 см.

На глубине 0–30 см 47% исследуемых проб имели содержание гумуса от 4.0 до 4.99%. Остальная часть (53%) отличалась содержанием гумуса от 2.0 до 3.99% (табл. 2). Таким образом, в микрозоне В пространственное распределение гумуса на 47% связано с присутствием малогумусных почв, а 53% – со слабогумусированными почвами.

В отличие от склона 1–3°, на котором пробы с содержанием гумуса ниже 1% появлялись лишь в слое 60–90 см, для микрозоны В характерно их появление уже на глубинах 30–60 см (5%), а на глубине 60–90 см их доля достигает 30% (табл. 2). Отмеченный факт обусловлен тем, что на глубине 60–90 см у среднесмытых почв находятся, в основном, переходный к материнской породе горизонт ВС или материнская порода С.

Сравнение средних показателей для разной крутизны склона показало, что на всех анализируемых глубинах содержание гумуса на склоне 3–5° достоверно ниже, чем в условиях склона 1–3° (табл. 5). Эта разница в слое 0–30 см составляет 0.59%, в слое 30–60 см она увеличивается до 0.77%, а в нижнем слое 60–90 см ее значение снижается до 0.47%.

Таблица 5

**Оценка значимости различий между средними содержаниями гумуса на склонах разной крутизны по критерию НСР**

Глубина, см	Микрозона		$\bar{x}_1$	$\bar{x}_2$	НСР <sub>0.05</sub>	<i>d</i>	Вывод: разница
0–30	А-склон 1–3°	В-склон 3–5°	4.52	3.93	0.25	0.59	существенна
30–60	А-склон 1–3°	В-склон 3–5°	3.18	2.41	0.42	0.77	существенна
60–90	А-склон 1–3°	В-склон 3–5°	1.82	1.35	0.27	0.47	существенна

Изучение мощности гумусового слоя проводили методом заложения почвенных разрезов по склону в каждой микрозоне. Исследуемая территория представлена вариациями черноземов типичных малогумусных средне- и маломощных слабо- и среднесмытых тяжелосуглинистых. По микропонижениям встречаются черноземы выщелоченные малогумусные средне- и маломощные слабо- и среднесмытые тяжелосуглинистые. Средняя мощность профиля рассматриваемых почв на склоне 1–3° составляет 90 см. Размах варьирования данного показателя колеблется от 78 см до 105 см. Коэффициент вариации невысокий (18%). На склоне 3–5° мощность почвенного профиля меньше, в среднем, 64 см. При этом коэффициент варьирования несколько меньше (12%), что говорит о невысоких различиях в величинах по глубине профиля (табл. 6).

Таблица 6

**Главные статистические параметры мощности почв исследуемого участка**

Варианты	<i>n</i>	<i>x</i>	<i>s</i>	<i>V</i> , %
Мощность почвенного профиля, см				
Склон 1–3°	3	90	16.4	18
Склон 3–5°	3	64	7.8	12
Мощность гумусового горизонта, см				
Склон 1–3°	3	45	13.1	29
Склон 3–5°	3	33	9.9	30

Мощность гумусового горизонта на склоне 1–3° составляет 45 см, а на склоне 3–5° – 33 см. Величина мощности гумусового горизонта на склоне 1–3° достоверно выше,



чем на склоне 3–5°. Коэффициент вариации показывает среднюю степень варьирования признака (табл. 6).

Таким образом, мощность гумусового горизонта на склоне 1–3° соответствует среднемошным почвам, а в условиях 3–5° – маломощным. Эта разница влияет на профильную неоднородность содержания гумуса в почвах склона.

Для изучения пространственных закономерностей распределения содержания гумуса мы использовали цифровую модель рельефа изучаемой территории. Она дает возможность в трехмерном пространстве представить исследуемый склон. Цифровая модель рельефа была получена в результате визуализации в приложении ArcScene программы ArcGIS [13]. Полученные тематические карты по содержанию гумуса на разных глубинах дают более широкие возможности в изучении закономерностей распределения гумуса в пространстве.

На рис. 1 видно, что в условиях склона 1–3° в слое 0–30 см почвенный покров представлен малогумусными почвами (4.0–4.9 %). Рассматривая более детально эту часть склона, можно увидеть, что справа в микропонижении виден контур почв с содержанием гумуса от 3.0–3.9 %, который вклинивается в данный контур. На построенной цифровой модели рельефа хорошо выражен микрорельеф, представленный протяжинами и микровозвышениями, которые перераспределяют почвенную массу. В верхней части склона крутизной 1–3° почвенная масса распределяется от микровозвышений к микропонижениям в результате эрозионных процессов. Однако мощность гумусового горизонта в этом контуре достаточно высокая (45 см) и поэтому территория однородна и представлена малогумусными почвами.

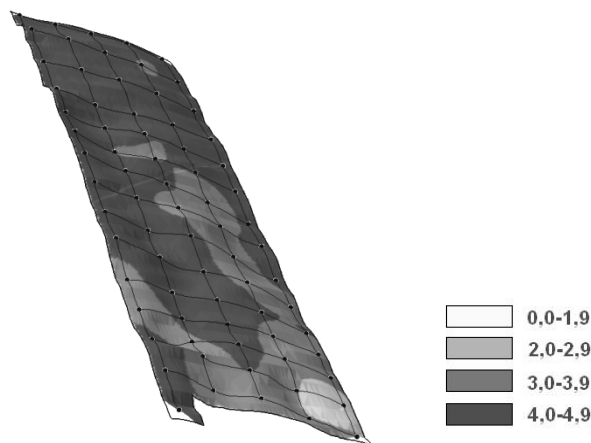


Рис. 1. Пространственное распределение содержания гумуса (%) в почвах на глубине 0–30 см

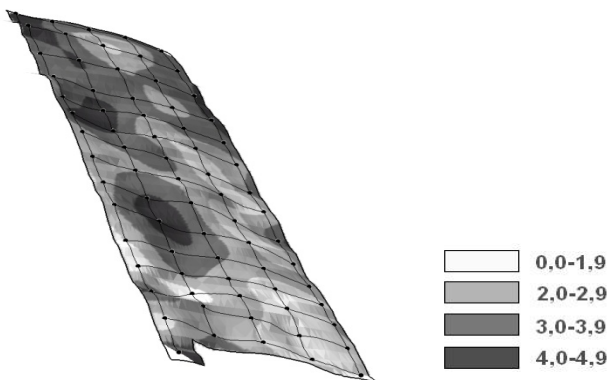


Рис. 2. Пространственное распределение гумуса (%) в почвах на глубине 30–60 см

На участке склона 3–5° виден вклинивающийся контур малогумусных почв (рис. 1). Здесь встречаются даже отдельные ареалы почв с содержанием гумуса 4.0–4.9 %, что не характерно для данной территории. Очевидно, из верхнего контура склона током воды принесло часть почвы. В правой части рисунка 1 на склоне 3–5° виден ареал с содержанием гумуса менее 3%.

На глубине 30–60 см пространственная неоднородность по содержанию гумуса в почвах более выражена, чем на глубине 0–30 см (рис. 2). В верхней части склона (1–3°) и в нижней части склона (3–5°) в микропонижении выявлен контур с содержанием гумуса от 3 до 3.9%. На микровозвышениях содержание гумуса составляет от менее 2.0% до 2.9%. На участке склона 3–5° в микропонижении накапливается почвенная масса в результате эрозионных процессов. Поэтому возникает пространственная неоднородность даже на глубине 30–60 см из-за неодинаковой мощности гумусового слоя в этом контуре.

На глубине 60–90 см визуально отмечается уменьшение содержания гумуса до уровня ниже 1.9%, однако в отдельных случаях (на склоне 1–3°) встречаются ареалы с его содержанием до 3.0–3.9%. Количественно доказано, что в условиях склона 1–3° и 3–5° на глубине 60–90 см содержание гумуса соответствует градации слабогумусированных почв. Однако на склоне 1–3° на этой глубине в некоторых почвах еще может присутствовать гумусовый горизонт, что подтверждалось в разрезах, которые были заложены в этой микроне. Варьирование содержания гумуса здесь высокое, и связано с присутствием почв, у которых гумусовый слой намылся дополнительно в результате локального перемещения почвенных масс (рис. 3). Таким образом, пространственная неоднородность по содержанию гумуса на склоне более выражена в условиях склона 3–5°. Внутри каждого контура в результате эрозионных процессов происходит перераспределение почвенной массы по микроложбинам, которые и создают пестроту по данному показателю.

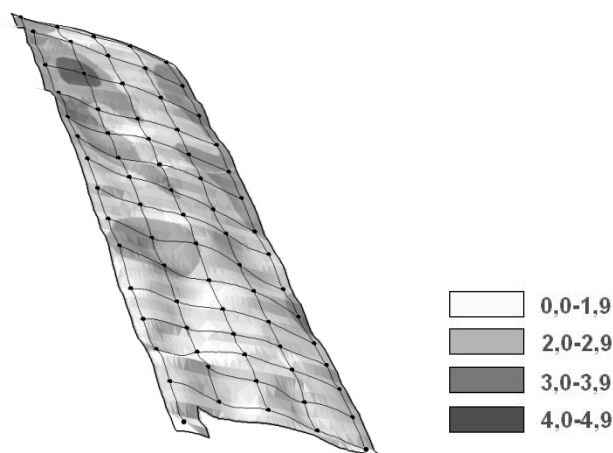


Рис. 3. Пространственное распределение гумуса (%) в почвах на глубине 60–90 см

Построенная цифровая модель рельефа дает возможность в трехмерном пространстве представить микрорельеф изучаемой территории. В результате созданной тематической карты по содержанию гумуса хорошо прослеживается влияние рельефа на пространственное распределение данного показателя. Поверхностные воды перемещают почвенную массу из микровозвышений в микроложбины. На картосхеме показано перетекание почвенной массы из верхней части склона в нижнюю. Крутизна склона и микрорельеф играют существенную роль в создании пестроты почвенного покрова.

### Выводы

1. Распределение содержания гумуса по профилю в почвах склона подтверждает известную закономерность: в верхних слоях величина максимальна, в нижних минимальна. В верхних слоях (0–30 см) в почвах изучаемых микрон зон варьирование признака незначительное и небольшое. В нижних слоях неоднородность возрастает, и степень варьирования средняя и высокая. Мощность гумусового горизонта на склоне 1–3° соответствует среднемощным почвам, а в условиях 3–5° - маломощным. Эта разница влияет на пространственную неоднородность содержания гумуса в почвах склона.

2. Пространственное распределение содержания гумуса в условиях склона 1–3° равномерное и основная территория контура представлена малогумусными аналогами (от 4.0 до 6.0 %), составляющими 84% площади. На территории склона 3–5° контуры малогумусных почв занимают 47%, а слабогумусированные почвы (менее 4.0%) составляют 53%. Неоднородность по содержанию гумуса более выражена в условиях склона 3–5°, так как внутри контура в результате более интенсивных эрозионных процессов происходит перераспределение почвенной массы по микроложбинам.

### Список литературы

1. Иванов Д.А., Тюлин В.А. Практикум по введению в агроландшафтоведение. – М. – Тверь: Чудо, 2003. – 48 с.
2. Лопырев М.И. Основы агроландшафтоведения. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 1995. – 184 с.
3. Методика проектирования базовых элементов адаптивно-ландшафтных систем земледелия. – М.: Россельхозакадемия, 2010. – 85 с.

4. Многолетний полевой опыт как базовый объект агроэкологического мониторинга в ландшафтном земледелии ЦЧЗ: программа и методика исследований / ЦЧФ ВИУА; рук. Милащенко Н.З., Акулов П.Г.; исполн.: лаборатория агроэкологических исследований ЦЧФ ВИУА, лаборатория экологических проблем ВИУА. – Белгород, 1992 – 65 с.

5. Методы агрохимических анализов почв: ОСТ 46 40–76 – ОСТ 46 52–76, издание официальное / Модифицированное определение гумуса в почвах по методу Тюрина с фотоколориметрическим окончанием ОСТ 46 47–76, М., 1977. – 112 с.

6. Дмитриев Е.А. Математическая статистика в почвоведении. – М.: Изд-во МГУ, 1995. – 320 с.

7. Щеглов Д.И. Черноземы центра Русской равнины и их эволюция под влиянием естественных и антропогенных факторов: Автореф. дисс. ... докт. биол. наук. – Воронеж: ВГУ, 1995. – 46 с.

8. Алифанов В.М. Палеокриогенез и современное почвообразование. – Пушкино: ПНЦ РАН, 1995. – 320 с.

9. Ахтырцев Б.П., Соловиченко В.Д. Почвенный покров Белгородской области: структура, районирование и рациональное использование. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 1984. – 268 с.

10. Георги А.А. Особенности развития намытых склоновых черноземов // Тр. Харьковского СХИ. – 1978. – Т.255. – С. 103-106.

11. Наконечная М.А., Явтушенко В.Я. Дифференциация склоновых почв Центрально-Черноземной полосы по плодородию в связи с их экспозицией и эродированностью // Плодородие почв и эффективность удобрений: Тр. ВИУА. – М., 1986. – С. 63-71.

12. Полупан Н.И. Влияние микрорельефа склоновых земель на процессы эрозии // Почвоведение. – 1998. – № 6. – С. 753–752.

13. Журкин И.Г., Шайтура С.В. Геоинформационные системы. – М.:КУДИЦ-ПРЕСС, 2009. – 272 с.

## **THE MICROZONAL FEATURES OF THE PROFILE AND THE SPATIAL DISTRIBUTION OF THE HUMUS CONTENT IN THE SOILS OF THE SLOPE**

**L.G. Smirnova**  
**Y.G. Gendev**  
**L.L. Novych**  
**P.A. Ukrainiskyi**  
**I.E. Novych**

*Belgorod State National Research University  
 Pobedy St., 85, Belgorod  
 308015, Russia  
 E-mail: lidya.smirnova@yandex.ru*

Profile distribution of the humus in the black-soil lands in the conditions of the slope of 1-3degrees and 3-5degrees is under consideration. It is established, that in the topsoil (0-30 cm) of the microzones under study the variation of the trait is slight and small. In the lower layers the heterogeneity increases, and the degree of variation is medium and high. The thickness of the humus horizon on the slope of 1-3 degrees corresponds to the medium strong soils, and in the conditions of 3-5 degrees- to shallow soil. The spatial distribution of indicator in terms of slope of 1-3 degrees is regular and the main territory of the circuit is presented by the low humus counterparts (from 4% to 6%), constituting 84% of the area. On the territory of the slope of 3-5 degrees the contours of humus soils occupy 47%, and light humus soil (less than 4%) make up 53%.

The heterogeneity of the content of humus is more expressed under the conditions of the slope of 3-5 degrees, as inside the outline as a result of more intensive erosion processes there is a redistribution of soil mass into micro hollows.

Key words: agrarian landscape, slope mickrozonality, agrarian landscape circuit, humus content, erosion processes, the heterogeneity of the soil cover.



## МИКРОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ПРИ АГРОГЕННОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ПОЧВ ЛЕСОСТЕПНОЙ ЗОНЫ<sup>1</sup>

**Н.С. Кухарук**  
**Ю.Г. Чендев**  
**А.Н. Петин**

*Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Россия  
308015, г. Белгород, ул. Победы, 85  
E-mail: Kuharuk@bsu.edu.ru;  
Chendev@bsu.edu.ru; Petin@bsu.edu.ru*

Изложены результаты исследований микростроения шлифов черноземов и серых лесных почв юга Центральной лесостепи. Выявлены микроморфологические особенности органического вещества почв при их агрогенной трансформации. Гумусовое состояние почв рассмотрено в контексте разных сроков распашки территорий.

Ключевые слова: микроморфология почв, гумус, органическое вещество почв, черноземы, серые лесные почвы, почвенные шлифы.

### Введение

Агрогенная трансформация почв представляет собой самый длительный и масштабный вид эволюции почвенного покрова под воздействием антропогенного фактора. В результате этого воздействия меняется общий уровень плодородия почв и, в частности, такой важный показатель, как содержание органического вещества. Почвы территорий Центральной лесостепи России, несмотря на длительный и интенсивный период сельскохозяйственного использования, исследованы лишь с точки зрения общих тенденций изменения во времени гумусового состояния. Методом, который позволяет идентифицировать изменения, происходящие в почвенной массе в ходе сельскохозяйственного использования, в частности вспашки почв, является микроморфологическое исследование [1, 2]. Изучение почвенных шлифов с ненарушенной структурой почв для всей суммы микроморфологических признаков дает возможность раскрыть многие детали динамики и эволюции почвообразования. В данной работе предпринята попытка изучить микростроение почв исследуемых территорий, с особым акцентом на их органическую составляющую. В задачи данной работы входило исследование шлифов почв, подготовленных в ходе изучения естественных и разновозрастных пахотных почв лесостепи Белгородской области в различных зональных обстановках лесостепи (широколиственно-лесных и лугово-степных). Кроме того, были рассмотрены черты сходства и отличий в характере агротехногенной эволюции органического вещества серых лесных почв и черноземов лесостепи на микроморфологическом уровне.

### Объекты и методы исследования

Объектом нашего исследования являются зональные почвы лесостепи Белгородской области (серые лесные почвы и черноземы) разных сроков земледельческого освоения и их аналоги, формирующиеся под естественной растительностью.

Нами была разработана концептуальная схема изучения поведения органического вещества в почвенном покрове агроландшафтов лесостепи, включающая проведение натурных исследований агрогенной трансформации органического вещества почв в различных зональных типах лесостепного ландшафта с использованием метода почвенных агрохронорядов. Этот метод основан на сравнительном анализе строения и свойств почвенных профилей на фоновых угодьях с естественной растительностью

<sup>1</sup> Работа выполнена по проекту № 2.1.1/9571 «Пространственно-временные особенности поведения органического вещества в почвенном покрове агроландшафтов на юге Центральной лесостепи» аналитической ведомственной целевой программы «Развитие научного потенциала высшей школы (2009-2011 годы)»

(0-момент агротехногенного почвообразования) и на пашнях, возникших в разное время. При выявлении ключевых участков исследования предпочтение отдавалось территориям с компактным размещением угодий с разновозрастными пашнями рядом с сохранившимся фрагментом угодья с естественным типом растительности.

Источниками для определения таких участков являлись одновременные крупномасштабные картографические материалы и, в первую очередь, планы периодов Генерального (конец XVIII века) и Специального (середина XIX века) межеваний Российской империи. Полевое исследование почв на выбранных ключевых участках подразумевало следующие виды работ: закладка почвенных разрезов; описание строения почвенных профилей; отбор почвенных монолитов на микроморфологический анализ.

Изучались закономерности пространственно-временных изменений качественного и количественного состава органического вещества в почвах пашни на ровных водоразделах или на очень пологих водораздельных склонах (крутизной до 2°), исключающих проявление поверхностной эрозии почв.

В работе используются результаты комплексных исследований агрогенной эволюции серых лесных почв на участках «Самарино», «Верхнеольшанский», «Казачья Лисица», а также черноземов на участках «Юрьевка» и «Жимолостное». Приведем краткую характеристику участков, при изучении почв которых были отобраны почвенные монолиты для подготовки шлифов с целью изучения микростроения почв.

Ключевой участок «Самарино» находится на границе лесостепной и степной зон Среднерусской возвышенности. К югу и юго-востоку от исследуемого участка обширные острова лесов больше не встречаются. Фоновые почвы были изучены в двух разрезах, заложенных под пологом коренного ясенево-дубового леса, который на протяжении последних столетий подвергался лишь выборочным рубкам деревьев. Фоновая почва была идентифицирована как серая лесная среднесуглинистая на карбонатном тяжелом суглинке. Также были заложены разрезы на пашне, возраст освоения которой составляет около 90 лет. На момент закладки разрезов поле засеяно вико-овсяной кормовой травосмесью. Почвы – пахотные темно-серые лесные поверхностно-глееватые тяжелосуглинистые на карбонатном тяжелом суглинке. Третья группа разрезов изучена на пашне, возраст освоения которой примерно равен 150 годам. На поле была произведена уборка посева, состоящего из травосмеси овса и ячменя. Почвы относятся к пахотным темно-серым лесным проградированным, переходным к черноземам выщелоченным, среднесуглинистым на карбонатном тяжелом суглинке.

Участок «Верхнеольшанский» в геоморфологическом отношении представляет собой пологий водораздельный склон восточной экспозиции крутизной 2°. Контуры пашен, возраста 80–130 лет и более 200 лет, компактно расположены вблизи сохранившегося участка леса. Фоновые почвы формируются под пологом ясенево-дубового леса с типичным лесным разнотравьем. По морфологическим признакам и физико-химическим показателям они относятся к фациальному подтипу темно-серых лесных умеренно промерзающих почв. На поле с возрастом распашки 90 лет почвы идентифицированы как пахотные темно-серые лесные поверхностно-глееватые. На старопашотном участке, который расположен к востоку и от леса, судя по описаниям почвенных разрезов и буровых колонок почв, распространены темно-серые лесные почвы, переходные к черноземам оподзоленным, а также черноземы оподзоленные.

Ключевой участок «Казачья Лисица» расположен в пределах типичной лесостепи, однако в более влажных климатических условиях по сравнению с выше описанными ключевыми участками. На участке, в пределах полностью лесопокрытой в прошлом территории, были исследованы почвы под лесом, на пашне возраста около 90 лет и на пашне с возрастом освоения 230 лет. Фоновый разрез заложен в дубово-ясеновом лесу. Фоновая почва относится к темно-серой лесной со вторым гумусовым горизонтом тяжелосуглинистой на среднем карбонатном лессовидном суглинке. Также были исследованы разрезы на водоразделе, который занят молодой пашней (возраста 90 лет) под плотным посевом яровой пшеницы. Почва в данном разрезе – пахотная темно-серая лесная тяжелосуглинистая на тяжелом карбонатном лессовидном суглинке. Старопашотный участок с возрастом земледельческого освоения 230 лет рас-



положен на том же поле севооборота, что и молодая пашня. Изученная на данном угодье, почва является черноземом оподзоленным среднемогучным, близким к маломогучному, тяжелосуглинистым на тяжелом карбонатном лессовидном суглинке.

Ключевой участок «Юрьевка» находится в Губкинском районе Белгородской области к северу и северо-западу от окраины села Юрьевка. Исследуемые почвы относятся к черноземам лугово-степного генезиса. На целинном участке под лугово-степной злаково-разнотравной растительностью были изучены фоновые почвы, являющиеся черноземами типичными среднемогучными, близкими к могучным, среднесуглинистыми на лессовидном суглинке. На близко расположенном от целинного участка пашни со сроком освоения 16 лет были идентифицированы пахотные инварианты черноземов аналогичного классификационного статуса. Группа разрезов на пашне возраста 150 лет, занятой посевами озимой пшеницы, вскрыла почвы, которые были идентифицированы как агрочерноземы типичные, среднемогучные, среднесуглинистые, на лессовидном суглинке. Также разрезы располагались на пашне со сроком освоения около 230 лет, на поле с прошлогодними остатками подсолнечника. Изученная на данном угодье почва – агрочернозем типичный среднемогучный среднесуглинистый на лессовидном суглинке.

Участок «Жимолостное» расположен в Прохоровском районе Белгородской области, на северной окраине пос. Жимолостное. Здесь были исследованы никогда не пахавшиеся черноземы сенокоса-выгона и прилегающие к ним черноземы с возрастом освоения 33 года и 120–200 лет (средний возраст распашки принят в 150 лет) на поле одного севооборота. Целинная почва является черноземом оподзоленным среднемогучным среднесуглинистым. Длительное пребывание чернозема под лугово-разнотравной растительностью способствовало стиранию признаков лесного педогенеза. Поэтому изученная целинная почва идентифицирована как чернозем оподзоленный, проградирующий в выщелоченный. Почвы с возрастом освоения 33 года изучены восточнее мест исследования целинного аналога. Они относятся к пахотным черноземам оподзоленным среднемогучным, близким к могучным, среднесуглинистым. Более старопашотные черноземы с возрастом земледельческого освоения 150 лет однозначно идентифицированы как пахотные черноземы типичные среднемогучные среднесуглинистые.

Микроморфологическое состояние исследуемых почв определялось по методике описания прозрачных шлифов [2]. Для исследования почвенных шлифов использовался комплект оборудования для изучения микростроения почв, геологических пород и аэрозолей включающий микроскопный комплекс на базе поляризационного исследовательского микроскопа проходящего и отраженного света ЛабоПол-3 ИПО вариант 2. Микроскопирование образцов осуществлялось при увеличении 20× и 32×. При изучении шлифов использовалось специальное программное обеспечение «Микро-Анализ», которое позволило производить обработку изображения фотографий шлифов.

### Результаты и их обсуждение

Рассмотрим существующие представления об агрогенной трансформации лесостепных почв и выявим индикаторные показатели этих изменений. Преобладающими почвами на юге Центральной лесостепи являются черноземы и серые лесные почвы и, поскольку они выбраны в качестве объекта исследования, ограничимся их изучением.

Черноземы – основной компонент почвенного покрова, лесостепного юга Среднерусской возвышенности. Черноземы давно и интенсивно используются в земледелии [3, 4, 5 и др.]. Коэффициент земельного использования черноземов по Н.Н. Розову и М.Н. Строгановой составляет 0.74. Деграционные проявления в пахотных черноземах возникают преимущественно в результате воздействия двух групп процессов: эрозии и выпашанности [6, 7]. Важнейшими составляющими процессов, обуславливающих выпашанность лесостепных черноземов, являются минерализация гумуса, гумусово-иллювиальный процесс и деграция физических показателей почв (плотности, агрегатного состава, влагоемкости, водопроницаемости, водопрочности агрегатов,

разрушения почвенной структуры) [6]. Пахотный слой черноземов теряет первоначальную структуру в течение сравнительно короткого времени – за 5–6 лет распашки, и главной причиной этого процесса является деградация их гумусного состояния, однако структура большинства старопахотных черноземов относится к нежесткому типу, т.е. обладает резервом восстановления утраченных свойств. Также проблема выпашивания (истощения, «утомления») почв рассматривается как: нарушение санитарного состояния почвы; нарушение баланса питательных веществ; ухудшение водно-воздушного режима; ухудшение систем обработки; утрата или угнетение полезной почвенной биоты [7].

При длительном земледельческом освоении подвержен трансформации и водный режим черноземов. «Как известно, зернистая структура естественных черноземов, характеризуясь высоким объемом внутриагрегатной порозности, обеспечивает этим почвам своеобразный иммунитет в отношении физического испарения и непродуктивного расхода влаги. Агрогенно-преобразованный горизонт, лишенный этого защитного механизма, а также слоя «степного войлока», еще до начала вегетации культурной растительности теряет большую часть весенних запасов влаги» [4].

Гумусовый профиль пахотных черноземов претерпевает различные изменения по мощности, что определяется конкретными условиями формирования почв и их функционирования. При этом трансформируются и другие его морфогенетические свойства. Насыщенность серой окраски ослабевает (вследствие потерь гумуса), структура становится более «грубой» (с наличием комков и глыб), весьма часто возникает горизонт подплужной подошвы, плотность сложения в котором, достигает 1.6 г/см<sup>3</sup>, населенность почвенными организмами (особенно дождевыми червями) снижается.

Однако выявлено, что выраженность процессов деградации почв, вызванных вспашкой, варьирует. Так максимальной природной толерантностью к агротехногенным изменениям во времени обладает структура черноземов обыкновенных: более северные и южные подтипы деградируют значительно быстрее.

Многочисленные литературные данные свидетельствуют о том, что распашка черноземов всегда сопровождалась потерей органического вещества – одной из первопричин «выпахивания» почв. Эта черта, по-видимому, отличает черноземы от серых лесных почв, распространенных на лессовидных карбонатных суглинках, в которых (согласно нашим наблюдениям) по истечении примерно 100 лет распашки происходит смена деградационного тренда стадией улучшения гумусного состояния почв [8]. При смене целины пашней происходит изменение не только количественных показателей гумусного состояния черноземов, – меняются его качественный состав, условия и процессы трансформации органического вещества. На целине значительную роль в процессе переработки органических веществ играют почвенные беспозвоночные. В пахотных же почвах переработка основной массы органических остатков производится почти исключительно микроорганизмами. Гумусовые вещества почвенных растворов в целинных черноземах круглый год находятся в анионной форме, под пашней же – в теплую половину года – в форме катионов, а осенью и ранней весной – в форме анионов. В пахотных черноземах доля лабильного гумуса снижается за счет активного использования его резервов сельскохозяйственными культурами и выноса вниз по профилю. Происходит относительное накопление гуминовых кислот, связанных с кальцием, расширяется отношение Сгк : Сфк. При длительном использовании черноземов происходят изменения периода биологической активности и связанного с ним гумусного состояния [5]. Авторы отмечают заметный вклад нисходящей миграции гумуса в формирование качественно нового гумусового статуса пахотных черноземов, одной из особенностей которого является накопление органического вещества в средней части почвенного профиля. Данный процесс особенно ярко проявляется на начальных стадиях распашки черноземов. Содержание гумуса в глубинных горизонтах часто превышает его содержание в горизонте А1: особенно выделяются подгоризонты В1 и В2. Выявлено прогрессирующее подкисление черноземов пашни, вследствие выноса оснований с урожаем, применения физиологически кислых минеральных удобрений, выпадения кислотных атмосферных осадков. Распашка черноземов также сопровождается их подкислением, при окислении органического вещества с образова-





нием нелетучих органических кислот, и в результате более интенсивных окислительных процессов, чем в целинных почвах. Также отмечена тенденция снижения емкости катионного обмена в пахотных горизонтах черноземов вследствие уменьшения содержания органического вещества и илистой фракции. По мнению современных авторов [9], распашка черноземов приводит не только к разбалансировке биологических процессов, но и, соответственно, к дегумификации и иницированию водной эрозии. Эрозионные потери гумуса пахотными почвами могут быть весьма значительными [10]. Согласно расчетам, из всего смытого с почвенным материалом органического углерода примерно 70% его аккумулируется в местных понижениях рельефа, около 20% поступает в атмосферу в виде  $\text{CO}_2$  и 10% выносится в аквальные системы.

Рассмотрим подробнее эволюционную трансформацию серых лесных почв под влиянием антропогенных факторов. На территории типичной лесостепи сравнительный анализ целинных серых и темно-серых лесных почв и их аналогов на разновозрастных пашнях позволил сделать вывод о проградации пахотных серых лесных почв в черноземы. Однако исследованиями, проведенными на территории северной лесостепи, было установлено, что при длительности сельскохозяйственного использования 130–140 лет темно-серые лесные почвы не трансформировались в черноземы, в своих основных чертах сохраняя морфогенетический статус целинных почв. Отмечалось лишь увеличение содержания карбонатов и подщелачивание иллювиальной части профиля старопахотных почв, а также уменьшение содержания гумуса в зависимости от возраста распашки. Длительное сельскохозяйственное использование в районах распространения коричнево-бурых глин приводит к деградации темно-серых лесных почв в серые лесные, однако на карбонатных лессовидных суглинках и глинах темно-серые лесные почвы приобретает свойства выщелоченных и оподзоленных черноземов. Гумус в верхней части профиля почв в различных условиях может стать более фульватным либо гуматным в пахотных серых лесных почвах по сравнению с их целинными эквивалентами. При сведении лесов и распашке серых лесных почв происходит возрастание оптической плотности гуминовых кислот, что свидетельствует об усложнении строения молекул гуминовых кислот в связи с изменившимися условиями почвообразования [11]. В слабокультурных серых лесных почвах отмечается активизация процессов, свойственных пахотным дерново-подзолистым почвам: лессиваж и оглеение.

Изменения, происходящие в профилях пахотных серых лесных почв, характеризуются противоречивым набором процессов и свойств. По динамике некоторых параметров (увеличению мощности гумусовых горизонтов, ослаблению седоватости на гранях агрегатов, поднятию к поверхности карбонатов, подщелачиванию нижней части профилей, расширению отношения  $\text{C}_{\text{гк}} : \text{C}_{\text{фк}}$ ), можно говорить о сближении этих почв с черноземами. По другим тенденциям (усиление выщелачивания, возрастание подвижности гумуса, проявление лессиважа и оглеения, ухудшение структуры верхних горизонтов и их дегумификация) пахотные серые лесные почвы приобретают свойства более гумидных, северных типов почв.

Таким образом, агрогенная трансформация затрагивает широкий спектр свойств почв и определенные изменения могут быть идентифицированы на уровне микростроения. На двух группах исследуемых ключевых участков почв – фоновых угодьях и пашне разных сроков земледельческого освоения – в ходе проведения полевых исследований были отобраны почвенные монолиты для изготовления шлифов. Общее количество изготовленных почвенных шлифов составило 86 штук. Отбор почвенных монолитов производился на широколиственно-лесных и лугово-степных ключевых участках изучения агрогенной трансформации во времени органического вещества почв: широколиственно-лесных участках лесостепи – «Верхнеольшанском», «Казачьей Лисице», «Самарино»; лугово-степных участках – «Жимолостное», «Юрьевка». Поскольку микроморфология органического вещества сводится к диагностике форм гумуса в верхнем горизонте и рассмотрению всей совокупности проявлений биогенного фактора в профиле почв, последовательно остановимся на этих аспектах, причем в качественных показателях.



Нами проанализированы фотографии изготовленных почвенных шлифов в соответствии с их принадлежностью к конкретным участкам агрохронорядов и к конкретным генетическим горизонтам почвенных профилей. В данной статье приведем рисунок, представляющий фотографии почвенных шлифов для серых лесных почв и черноземов (рис. 1).

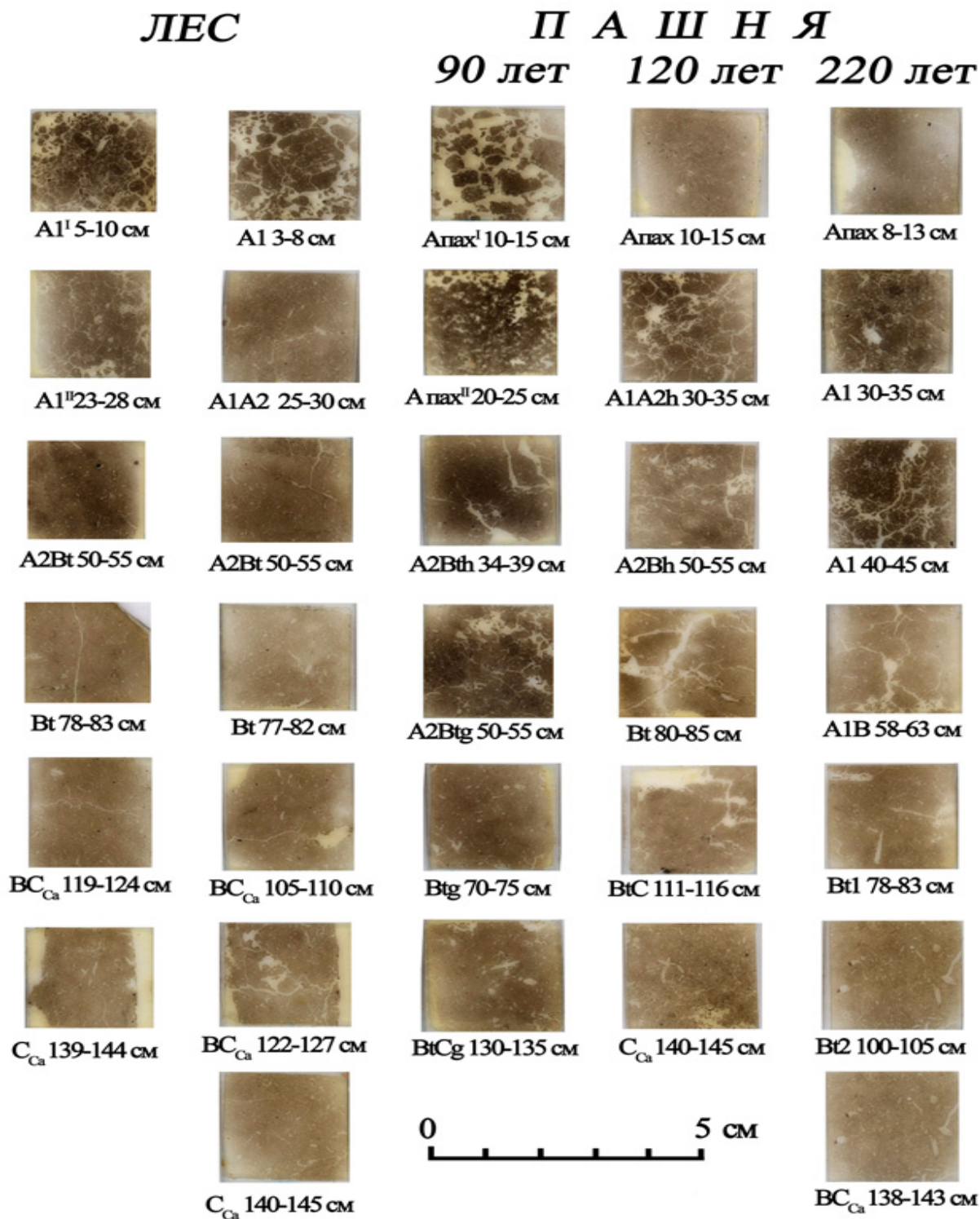


Рис. 1. Фотографии почвенных шлифов, отражающих микростроение почв, изученных на участке «Верхнеольшанский» (фотомонтаж Ю.Г. Чендева)

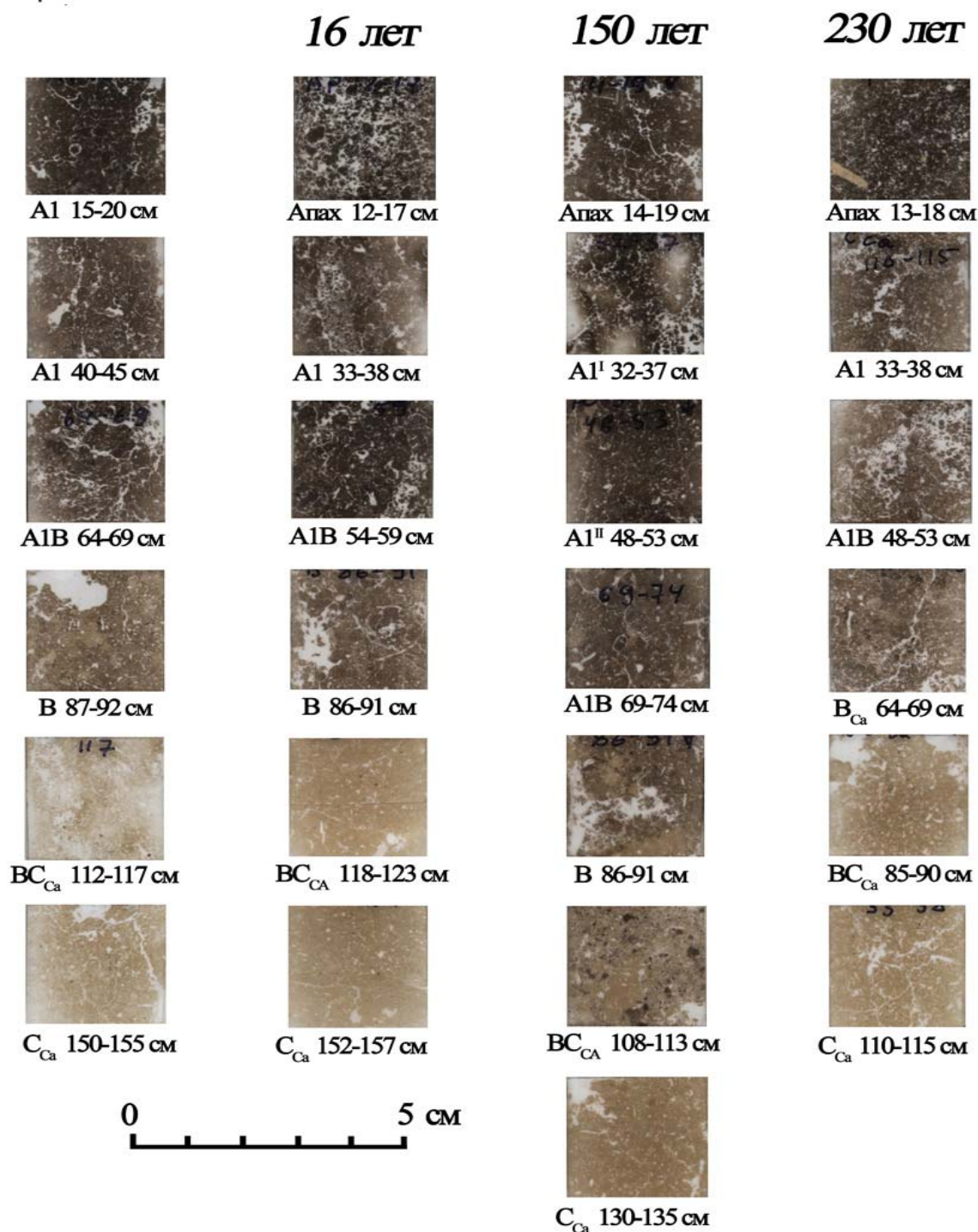
**ЦЕЛИНА****ПАШНЯ**

Рис. 1 (окончание). Фотографии почвенных шлифов, отражающих микростроение почв, изученных на участке «Юрьевка» (фотомонтаж Ю.Г. Чендева)

Некоторые выводы уже можно сделать исходя из характеристики общего вида почвенных шлифов даже при небольшом увеличении. В частности, выявляются особенности агрогенного изменения во времени почвенной структуры как индикатора содержания гумуса в верхней половине почвенных профилей: в агрохронорядях серых лесных почв имеет место тенденция улучшения структурного состояния подпахотной части почвенных профилей, а в агрохронорядях черноземов – ухудшение данного по-

казателя. Кроме того, в агрохронорядах черноземов обнаружено потемнение гумусово-глинистой плазмы в глубинных горизонтах при сравнении пахотных вариантов черноземов с их целинными аналогами. Данное наблюдение свидетельствует об усилении вертикального перемещения гумуса по профилю черноземов в пахотную стадию их развития в ходе активизации процессов иллювирирования органического вещества почв.

Для оценки различий органических компонентов исследуемых почв определялась одна из важнейших составляющих микроморфологических исследований органического вещества – форма гумуса. Под формой гумуса в узком, сугубо микроморфологическом понимании, подразумевается сочетание по профилю растительных остатков разной степени разложения, выделений почвенных животных, сопутствующей микрофлоры и особенно гумусовых кислот [1]. Характеристика форм гумуса, выявленных при микроскопировании почвенных шлифов с указанием степени выраженности признака, приведена в табл. 1. В соответствии с данными, отражающими формы гумуса в исследуемых шлифах почв, обнаружено, что агрогенные модификации как серых лесных, так и черноземных почв в верхних горизонтах, вследствие их перемещения при вспашке, могут содержать единичные элементы грубого гумуса в слабой степени трансформации и переходные формы гумуса. В целом серые лесные почвы при их вовлечении в распашку приобретают обогащенность зрелыми формами гумуса, а по черноземам тенденция противоположная – растет доля менее зрелого гумуса.

Поскольку традиционно выделяют три уровня организации органического материала почвы, различающиеся качественными характеристиками – тип органо профиля; стратотип гумуса и морфотип гумуса – мы попытались охарактеризовать изучаемые почвы с этих позиций. Тип органо профиля отражает направленность и особенности гумусонакопления предшествующих и современных стадий почвообразования. Он определяется профильными характеристиками органического вещества. В данном случае, в целом, профили почв могут быть отнесены к равномерно убывающим по содержанию органических компонентов. Стратотип гумуса характеризуется специфическим сочетанием морфотипов гумуса и определенной локализацией в пределах почвенного профиля. В исследуемых агрогенных почвах, относительно их природных аналогов, наблюдается перераспределение органического вещества вниз по почвенному профилю вследствие распашки. Максимум аккумуляции наблюдается в подпахотных горизонтах, и более длительный срок освоения этих почв позволяет визуализировать эти закономерности в шлифах при изучении почвенных профилей разных сроков освоения. Морфотип гумуса нами был диагностирован по набору агрогенных форм с однотипным морфологическим строением. Таким образом, в верхней части профилей почв преобладает аккумулятивный сгустковый морфотип гумуса; вниз по профилю возрастает доля колломорфно-иллювиального гумуса для агрогенных модификаций почв. По морфологии и составу компонентов морфотипы гумуса природных почв в большинстве случаев могут быть классифицированы как простые – это морфологически неделимые части органического вещества, представляющие собой сгустки колломорфного гумуса. Для агрогенных горизонтов почв характерны сложные морфотипы гумуса, включающие сложные морфологические компоненты, состоящие из нескольких составных единиц: органических эксскрементов, растительных тканей, элементов зрелого гумуса и др.

Главные микроморфологические признаки, выявленные при изучении природных типичных черноземов (рис. 2, 3, 4, 10, 11, 12, 13): высокая агрегированность гумусовых горизонтов; агрегаты по происхождению либо фитогенные, либо копрогенно-коагуляционные; порядковость агрегатов 3–5; органо профиль представлен изотропной плазмой, темно-серым тонкодисперсным гумусом, с наличием в профиле редких хорошо разложившихся органических остатков; в переходных горизонтах (A1B) плазма слабоизотропная, гумусово-глинистая; карбонаты в иллювиально-карбонатном горизонте представлены микрокристаллическим кальцитом в различных формах; агрегированность горизонта карбонатами – средняя.



Таблица 1

**Особенности форм гумуса верхних горизонтов природных черноземов  
и серых лесных почв и их агрогенных модификаций**

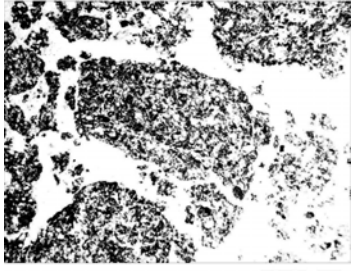
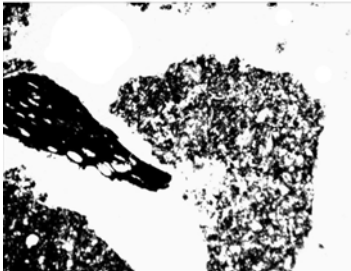
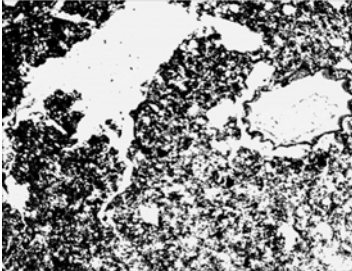
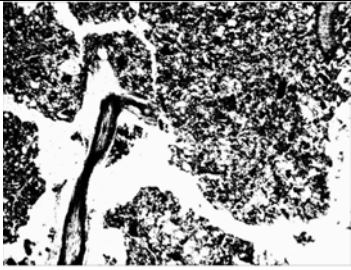
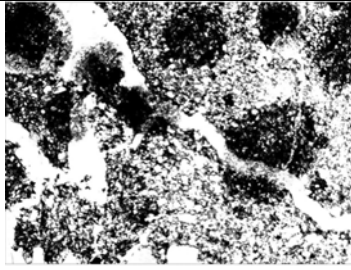
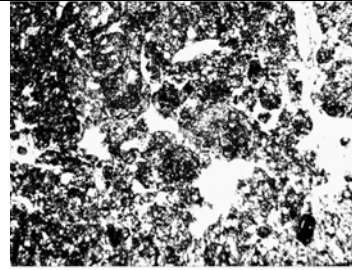
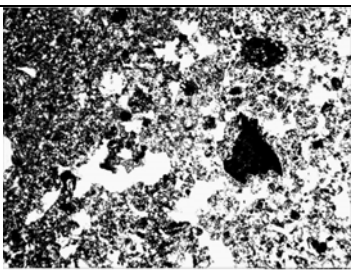
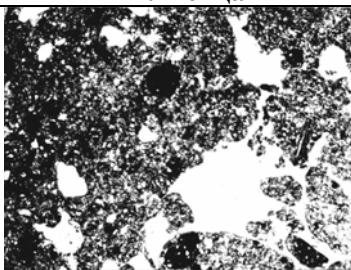
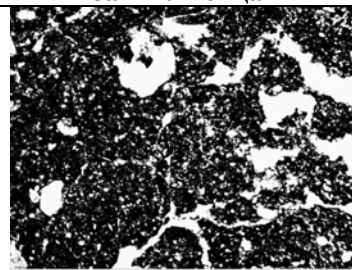
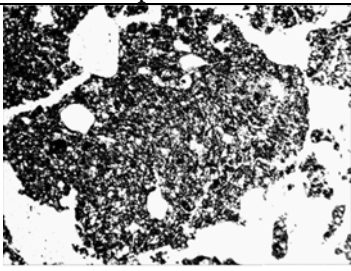
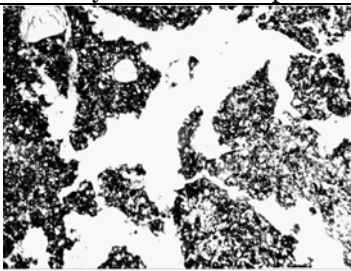
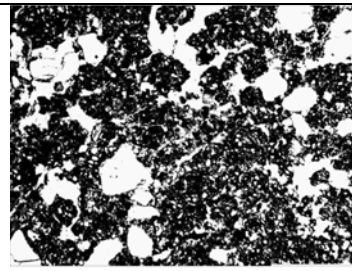
Название форм гумуса	Растительные остатки в гумусовом профиле		Почвенные беспозвоночные функции	Агрегированность	Связь с минеральной частью почвы	Степень выраженности признака			
	грубые	сильно разложившиеся				для серых лесных почв	для агрогенных серых лесных почв	для черноземов	для агрогенных черноземов
Гумус скелетный	максимальное количество, волокнистые, слабо измельченные	нет	превращение свежих остатков в выбросы (в мягкие ткани)	нет	нет	-	-	-	-
Грубый гумус	преобладают незначительно измельченные, слабо разложившиеся	пятна бурой плазмы за счет мягких тканей и выбросов, коллоидные вещества только в выбросах	измельчение, частичная переработка, склеивание	единичные прочные агрегаты	нет	-	+	-	+
Модер (переходная форма)	среднее содержание, частично волокнистые, средне разложившиеся	бурые коллоидные ступки и хлопья	переработка тонко дисперсная	умеренная (копренное склеивание)	очень слабая механическая	++	+++	++	+++
Муллеподобный модер	незначительное количество; бурые, измельченные	только в выбросах	активная переработка, перемешивание	значительная, в том числе копренная	механическая при хорошей перемешанности	+++	++	++	++
Муль	единичные мелкие	нет	активная переработка, агрегирование	сплошная за счет копролитов	глинисто-гумусовые комплексы	++	+++	+++	++

В пахотных черноземах признаки микростроения следующие: агрегированность гумусовых горизонтов средняя, агрегаты преимущественно агрогенные, порядковость агрегатов ниже 2–3; органофильность состоит из изотропной плазмы, преобладает серый тонкодисперсный гумус с наличием растительных остатков в разной степени разложения (слаборазложившиеся; средне- и сильноразложившиеся; углеподобные частицы); в переходных горизонтах наблюдается потемнение гумусово-глинистой плазмы (в результате агрогенно спровоцированного илливирирования гумуса), нижние горизонты по микростроению аналогичны фоновым почвам, поэтому перечисление этих свойств не целесообразно.

Одно из важных наблюдений состоит в том, что по мере увеличения возраста распашки происходит затухание интенсивности агрогенных изменений гумусово-глинистой плазмы черноземов. Например, отличия целинного чернозема и чернозема с 16-летним сроком распашки более существенны, чем, выявляемые различия между черноземами с возрастом распашки 150 и 230 лет (по объекту «Юрьевка»).



Рассмотрим особенности микроморфологических признаков серых лесных почв (рис. 5–9).

		
<i>Рис. 2.</i> А1 целинного чернозема на участке «Жимолостное»	<i>Рис. 3.</i> А <sub>пах</sub> чернозема с возрастом освоения <b>33</b> года на участке «Жимолостное»	<i>Рис. 4.</i> А <sub>пах</sub> чернозема с возрастом освоения <b>150</b> лет на участке «Жимолостное»
		
<i>Рис. 5.</i> А1 темно-серой лесной почвы под лесом на участке «Казачья Лисица»	<i>Рис. 6.</i> А <sub>пах</sub> темно-серой лесной почвы с возрастом освоения <b>90</b> лет на участке «Казачья Лисица»	<i>Рис. 7.</i> А <sub>пах</sub> темно-серой лесной почвы с возрастом освоения <b>230</b> лет на участке «Казачья Лисица»
		
<i>Рис. 8.</i> А1 серой лесной почвы под лесом на участке «Самарино»	<i>Рис. 9.</i> А <sub>пах</sub> серой лесной почвы с возрастом освоения <b>150</b> лет на участке «Самарино»	<i>Рис. 10.</i> А1 целинного чернозема на участке «Юрьевка»
		
<i>Рис. 11.</i> А <sub>пах</sub> чернозема с возрастом освоения <b>16</b> лет - участок «Юрьевка»	<i>Рис. 12.</i> А <sub>пах</sub> чернозема, возраст освоения <b>150</b> лет - участок «Юрьевка»	<i>Рис. 13.</i> А <sub>пах</sub> чернозема, возраст освоения <b>230</b> лет - участок «Юрьевка»

*Рис. 10–13.* Микроорганизация горизонтов А1 и А<sub>пах</sub> почв черноземов (увеличение 32×) (фото Н.С. Кухарук)



В гумусово-аккумулятивном горизонте отмечается наличие разнообразных растительных остатков, но в небольшом количестве, состав плазмы гумусово-глинистый, микроразнообразие по гумусу выражено слабо; в гумусово-аккумулятивно-элювиальном горизонте отмечается микроразнообразие по плазме разного состава, заметны микроразнообразия элювирования, мелкие, гумусово-глинистые и глинистые кутаны, тонкодисперсный гумус темный, неоднородно распределен, иллювиальный горизонт содержит глинистые и гумусово-глинистые кутаны, микростроение чешуйчато-волоконистое, карбонаты встречаются локально, мелкокристаллический кальцит, как правило, связан с порами. Агрогенные почвы серых лесных почв по тому же ключевому участку исследования приобретают следующие признаки микростроения: в гумусово-аккумулятивном горизонте отмечается наличие растительных остатков, но в значительной степени разложения, плазма темная со значительным участием гумуса, микроразнообразие по гумусу – заметная; в гумусово-аккумулятивно-элювиальном горизонте отмечаются темные гумусированные и редкие мелкие элювиальные микроразнообразия, по плазме разного состава, заметны микроразнообразия элювирования, мелкие, гумусово-глинистые и глинистые кутаны, тонкодисперсный гумус преобладает; иллювиальный горизонт содержит гумусово-глинистые кутаны, количество, которых уменьшается книзу, плазма слабоанизатропна, местами окарбоната, микро- и мелкокристаллические стяжения карбонатов. На основании проведенного микроморфологического исследования можно констатировать, что процессы лессиважа в пахотных почвах (на первых этапах распашки) происходят более интенсивно, чем в лесных аналогах. Наряду с этим, отмечено закономерное изменение качественного состава гумусово-глинистой плазмы верхних горизонтов от почв целинных к почвам старопахотным, что можно объяснить с позиций «созревания гумуса». Происходит сокращение микроразнообразия с бурокрасной плазмой, возрастает доля тонкодисперсного гумуса, образуются черно-бурые комочки глинисто-гумусового состава.

### **Заключение**

На основе использования микроморфологической диагностики и сравнительного анализа микростроения органического вещества пахотных лесостепных почв были выявлены определенные закономерности, отражающие антропогенную трансформацию почв в почвенном покрове агроландшафтов Центральной лесостепи. В процессе длительного земледельческого освоения серых лесостепных почв и лесостепных черноземов, в их профилях на микроуровне происходят существенные изменения микростроения, вызванные дифференциацией признаков и процессов, затрагивающих как пахотный горизонт, так и более глуболежащие слои. Обнаруживается стадийность агрогенной эволюции гумусовых профилей лесостепных почв. По направленности изменений во времени, длительная распашка на ровных водоразделах изменяет свойства серых лесостепных почв и лесостепных черноземов в противоположных направлениях: серые лесные почвы улучшают свое качество и имеют тренд трансформации в черноземы, а лесостепные подтипы черноземов трансформируются в менее плодородные разновидности. В целом, распашка стимулирует гомогенизацию гумусового состояния почв лесостепи, первоначально представленной менее плодородными ареалами серых лесных почв и более плодородными ареалами черноземов.

Органическое вещество серых лесных почв и черноземов в результате агрогенной трансформации приобретает микроморфологические особенности, выражающиеся в однотипных проявлениях по трем уровням организации органического материала почвы, различающимся качественными характеристиками: тип органофилия, стратотип гумуса и морфотип гумуса, причем, чем более длительный период распашки, тем больше конвергенция микроморфологических признаков почв.

### Список литературы

1. Герасимова М.И., Губин С.В., Шоба С.А. Микроморфология почв природных зон СССР. – Пушино: ПНЦ РАН, 1992. – 214 с.
2. Парфенова Е.И., Ярилова Е.А. Руководство к микроморфологическим исследованиям в почвоведении. – М.: Наука, 1977. – 198 с.
3. Карпачевский, Л.О. Экологическое почвоведение. – М.: ГЕОС, 2005. – 337 с.
4. Лебедева И.И. Гидрологические профили миграционно-карбонатных (типичных) черноземов и агрочерноземов // Почвоведение. – 2002. – № 10 – С. 1214–1223.
5. Русанов, А.М., Агишева С.Ю. Экологические условия гумусообразования черноземов Урала // Вестн. ОГУ. – 2009. – № 6 (100). – С. 597–600.
6. Природно-антропогенные геосистемы Центральной лесостепи Русской равнины. – М.: Наука, 1989. – 276 с.
7. Козловский, Ф.И., Чаплин В.А. Агродеградация черноземов // Степи Русской равнины: состояние, рационализация аграрного освоения. – М.: Наука, 1994. – С. 174–191.
8. Чендев Ю.Г. Агротехногенное изменение темно-серых лесных почв Центральной лесостепи за последние 200 лет // Почвоведение. – 1997. – № 1. – С. 10–21.
9. Эрозия и потери органического углерода почв при распашке склонов / А.Н. Геннадиев, А.П. Жидкин, др. // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. – 2010. – № 6. – С. 32–37.
10. Тишкина Э.В., Иванова Н.Н. Почвенный покров распаханых и целинных прибалочных склонов (Курская область) // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. – 2010. – № 6. – С. 73–79.
11. Ахтырцев Б.П., Щетинина А.С. Изменение серых лесных почв Среднерусской лесостепи в процессе сельскохозяйственного освоения. – Саранск, 1969. – 164 с.

## FEATURES MICROMORPHOLOGICAL ORGANIC MATTER AGROGENNOY IN TRANSFORMATION OF SOIL FOREST-STEPPE ZONE

**N.S. Kukharuk**  
**Yu.G. Chendev**  
**A.N. Petin**

*Belgorod State National Research University  
Victory St., 85, Belgorod, 3080015, Russia*

*E-mail: Kukharuk@bsu.edu.ru;  
Chendev@bsu.edu.ru; Petin@bsu.edu.ru*

The results of studies of the microstructure of thin chernozems and gray forest soils in south central steppe are set forth. Micromorphological features of soil organic matter under the agrogenic transformation are revealed.

Humus soil conditions are considered in the context of different periods of plowing up the areas.

Key words: micromorphology of soil, humus, organic matter soils, chernozem, gray forest soil, soil thin sections.



## ЗАПАСЫ ПРОДУКТИВНОЙ ВЛАГИ ПОД АГРОЦЕНОЗАМИ БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ

**О.В. Крымская**  
**М.Г. Лебедева**

*Белгородский государственный  
национальный исследовательский  
университет, Россия  
308015, г. Белгород,  
ул. Победы, 85*

*E-mail: krymskaya@bsu.edu.ru;  
lebedeva\_m@bsu.edu.ru*

Проведена оценка изменчивости запасов влаги в пахотном слое почвы в вегетационный период на территории Белгородской области на основании данных стандартных агрометеорологических наблюдений. Выявлена тенденция к формированию засушливых явлений в осенний период, что отражает современные климатические изменения условий увлажнения.

Ключевые слова: вегетационный период, изменчивость условий увлажнения, продуктивная влага.

Наблюдаемое в последнее столетие глобальное потепление проявляется в разных регионах земного шара [1, 2]. Анализ влагообеспеченности вегетационного периода был проведен по данным наблюдений за запасами почвенной влаги за период 1994–2010 гг. Белгородского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды.

Цель наших исследований состояла в оценке запасов продуктивной влаги в почвах Белгородской области в период активной вегетации.

Задачей была оценка изменчивости запасов продуктивной влаги в почвах Белгородской области в конце XX–начале XXI вв.

Изменчивость запасов влаги в пахотном слое почвы на территории Белгородской области оценивалась на основании данных стандартных агрометеорологических наблюдений.

Белгородская область занимает южные и юго-восточные склоны Среднерусской возвышенности. Вся территория области изрезана густой сетью рек бассейнов Северского Донца, Дона и Днепра. Восточные районы области сильно расчленены оврагами и балками, к западу овражность уменьшается.

Северная часть области находится в лесостепной зоне, а юго-восточная – в степной. Леса занимают около 8% всей площади, большая часть территории и особенно водораздельные пространства распаханы. Среди полевых земледельческих культур преобладают хлебные злаки – озимая и яровая пшеницы, рожь, овес, ячмень, просо, гречиха.

На территории области преобладают черноземные почвы: мощные, выщелоченные, обыкновенные и оподзоленные. Для получения на них высоких урожаев, в условиях климата, отличающегося значительной континентальностью, прежде всего, необходимы мероприятия по удержанию и накоплению влаги. Область обладает богатыми термическими ресурсами, а условия увлажнения изменяются от незначительно засушливых (гидротермический коэффициент от 1 до 1.2) на севере и западе области до засушливых на востоке и юго-востоке (гидротермический коэффициент от 1 до 0.9) [3].

Показателем обеспеченности влагой вегетационного периода может служить количество выпавших осадков, которое в целом убывает с запада на восток от более, чем 600 мм в Готне до менее 550 мм в Новом Осколе и Волоконовке. Примерно две трети этого количества выпадает в теплом полугодии. Сумма осадков за период активной вегетации растений составляет в среднем по области 240–290 мм. Однако изменчивость их очень велика (табл. 1).

Особенности годового хода увлажнения проявляются в зависимости от условий зимы и степени засушливости вегетационного периода. Так, в наименее засушливых районах мягкой зимы (южные склоны Среднерусской возвышенности) наблюдается значительное влагонакопление в почве зимой и большой дефицит влаги осенью. В ус-



ловиях более суровых зим (юго-восточные склоны Среднерусской возвышенности) существенное пополнение влаги в почве наблюдается весной за счет талых вод [4].

Таблица 1

**Многолетняя сумма осадков за период с температурой воздуха выше 10°C более указанных значений различной обеспеченности**

		Сумма осадков, мм					
средняя	наименьшая	Обеспеченность (%)					наибольшая
		90	75	50	25	10	
240	103	150	192	246	292	328	385
250	111	158	202	255	300	340	395
260	120	165	208	264	310	348	405
270	129	172	214	272	320	358	415
280	137	180	222	280	330	370	425

На территории Белгородской области располагаются 8 станций, относящихся к разным агрогидрологическим районам (табл. 2, рис. 1).

Таблица 2

**Характеристика станций по мониторингу влажности почвы на территории Белгородской области**

Станция	Агрогидрологический район	Тип и механический состав почв
Готня	Тип полного весеннего промачивания	Черноземы выщелоченные среднегумусные мощные глинистые и тяжелосуглинистые пылеватые
Новый Оскол	Тип умеренного весеннего промачивания	Черноземы оподзоленные глинистые и тяжелосуглинистые пылеватые
Белгород	Тип полного весеннего промачивания	Черноземы обыкновенные слабовыщелоченные среднемощные глинистые и тяжелосуглинистые пылеватые
Валуйки	Тип полного весеннего промачивания	Черноземы обыкновенные среднегумусные среднемощные глинистые и тяжелосуглинистые пылеватые
Большетроицкое	Тип полного весеннего промачивания	Черноземы выщелоченные среднегумусные мощные глинистые и тяжелосуглинистые пылеватые
Алексеевка	Тип умеренного весеннего промачивания	Черноземы выщелоченные глинистые и тяжелосуглинистые пылеватые
Старый Оскол	Тип полного весеннего промачивания	Черноземы оподзоленные средне- и легкосуглинистые песчаные
Б.-Фенино	Тип увлажнения капиллярно-подперто-подвешенной влагой	Черноземы типичные средне- и малогумусные сверхмощные глинистые и тяжелосуглинистые пылеватые

В начале вегетации запасы продуктивной влаги на зяби в северо-восточных районах, а также на юге области (в междуречье Оскола и Корочи) наибольшие и составляют 175–200 мм в метровом слое суглинистых почв. Несколько меньше, 150–175 мм, бывает в западных и центральных районах. На юго-востоке области, а также на супесчаных почвах по левобережью р. Оскол запасы влаги наименьшие – 125–150 мм. Недостаточные запасы влаги, меньше 100 мм, бывают только на юго-востоке области в 10–30% лет [3].

Для вегетационного периода характерны огромные расходы почвенной влаги из корнеобитаемого слоя на испарение и транспирацию, которые обычно не компенсируются выпадающими осадками. В течение лета запасы влаги постепенно убывают, доходя до минимума под озимыми во второй декаде июля, а под яровыми – в третьей декаде июля.



Рис. 1. Агрогидрологические районы на территории Белгородской области

В отдельные засушливые годы запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы за вегетационный период могут понижаться до 5–10 мм (табл. 3). Общую оценку влагообеспеченности сельскохозяйственных культур можно дать путем сопоставления потребности их во влаге с фактическими ее ресурсами. Согласно исследованиям потребность культурных растений в воде за весь период вегетации в разных почвенных зонах почти совпадает с испаряемостью за тот же период. Потребность озимых в воде за период от возобновления вегетации до созревания составляет 350–400 мм, а яровых – 365–470 мм.

Таблица 3

Многолетние характеристики условий увлажнения вегетационного периода (с температурой выше 10°C) [3]

Агроклиматический район	Сумма осадков за период (мм)	Сумма дефицитов влажности воздуха за период (мм)	Станция	Тип почвы и её механический состав	Запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы (мм)				
					на дату перехода температуры воздуха через 10°C		минимальные		На дату перехода температуры воздуха через 5°C осевую
					озимые	ярьбь	озимые	пропашные	
1	270-290	850-950	Старый Оскол	Чернозем оподзоленный супесчаный	126	128	33	40	до 100 мм
			Б.-Фенино	Чернозем типичный тяжелосуглинистый	193	184	31	76	5°C осевую
			Готня	Чернозем выщелоченный тяжелосуглинистый	127	150	17	16	89
2	240-275	900-1060	Новый Оскол	Чернозем оподзоленный тяжелосуглинистый	111	137	10	17	77
			Белгород	Чернозем обыкновенный тяжелосуглинистый	176	167	0	16	136
			Алексеевка	Чернозем выщелоченный тяжелосуглинистый	129	128	12	25	86
			Большетроицкое	Чернозем типичный тяжелосуглинистый	150	166	4	29	82
			Валуйки	Чернозем обыкновенный тяжелосуглинистый	176	194	22	17	127

Фактические ресурсы влаги за вегетационный период составляют 235–325 мм. Сопоставляя потребность культуры во влаге с фактическими ее ресурсами, получаем влагообеспеченность посевов в процентах от оптимальной, которая для зерновых культур составляет 60–80%, (табл. 4).

Таблица 4

**Влагообеспеченность сельскохозяйственных культур [3]**

Культура	Агроклиматический район	Станция	Запасы продуктивной влаги, (мм) в слое почвы 0-100 см на дату		Количество осадков от посева до созревания	Сумма испарения от посева до созревания, мм	Влагообеспеченность	
			сева	созревания			оптимальная потребность в воде (мм)	фактическая потребность (% от оптимальной)
Озимые	I	Старый Оскол	155	87	167	235	379	62
		Б.-Фенино	199	101	175	273	348	78
	II	Белгород	209	87	170	292	374	78
		Большетроицкое	152	77	165	240	358	67
		Валуйки	184	97	160	247	398	62
Яровые	I	Старый Оскол	141	81	203	263	453	58
		Б.-Фенино	192	119	197	270	390	70
	II	Белгород	194	110	176	260	371	70
		Большетроицкое	161	45	190	306	423	72
		Валуйки	194	94	165	265	429	69

Для объективной оценки условий, обычно наблюдаемых в различные периоды вегетации озимых культур, более информативными будут данные о средних многолетних запасах продуктивной влаги в пахотном слое почв (табл. 5).

Таблица 5

**Средние многолетние запасы продуктивной влаги в почве (мм) под озимыми культурами (слой почвы 0–20 см) [3]**

Станция	Месяцы года						
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Старый Оскол	25	18	15	17	21	21	26
Б.-Фенино	36	25	20	25	36	30	37
Готня	27	21	6	н/д	н/д	12	20
Новый Оскол	22	19	15	17	14	14	24
Алексеевка	31	17	8	14	н/д	45	49
Белгород	37	23	18	22	25	24	31
Большетроицкое	47	24	24	14	33	26	30
Валуйки	37	26	17	23	24	24	27

Анализ запасов продуктивной влаги в почвах Белгородской области в разные фазы развития озимых культур в начале нынешнего столетия показал, что неблагоприятные для формирования будущего урожая условия чаще складываются осенью, что связано с изменениями в режиме выпадения осадков, отмечаемыми в последние годы, а именно – малым количеством осадков в августе, что сдерживает всходы озимых и ослабляет их перед зимним периодом (рис. 2–4).

Возобновление вегетации озимых культур приходится на апрель. Тенденции последних лет указывают на то, что примерно в 50% случаев запасы влаги в пахотном слое ниже многолетних значений. При этом отклонение от средних многолетних величин составляют не более 10–25%. Среднее квадратическое отклонение – 5 мм.

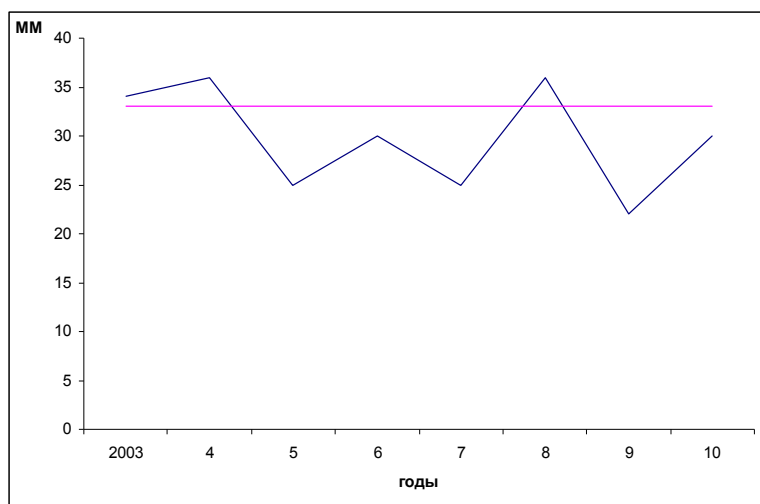


Рис. 2 . Запасы продуктивной влаги в пахотном слое почвы к началу активной вегетации

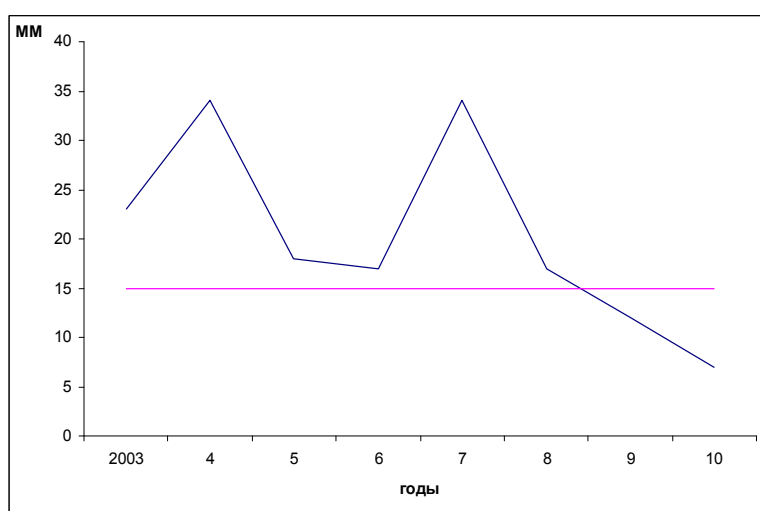


Рис.3. Запасы продуктивной влаги в пахотном слое почвы к концу третьей декады июня

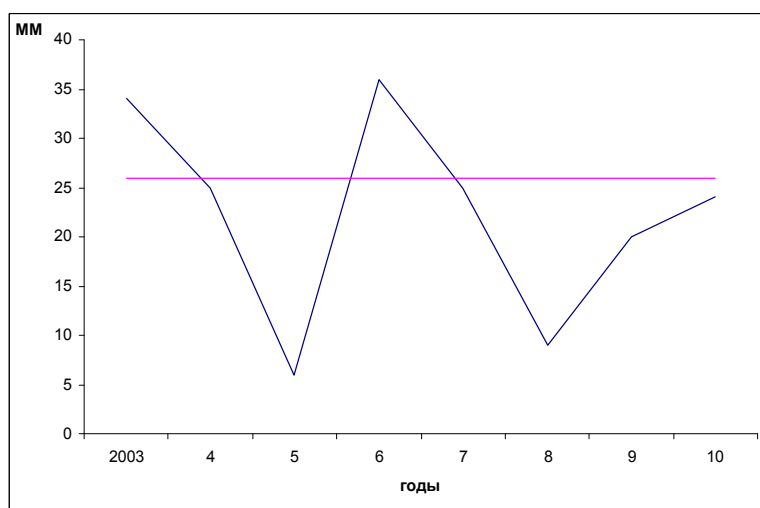


Рис.4 .Запасы продуктивной влаги в пахотном слое почвы в начале сентября

В фазу «выход в трубку-цветение» дефицит запасов влаги в почве ухудшает состояние посевов и снижает урожай. В последние два года характеризовались резким дефицитом влагообеспеченности. В остальные годы запасы влаги были удовлетворительными и оптимальными.

Наибольшей изменчивостью влагообеспеченности характеризуется осенний пе-

риод. Если дефицит осадков в сентябре накладывался на малое количество осадков в августе, то влагозапас почвенного покрова уменьшался до минимальных значений. Такие неблагоприятные условия для всходов озимых отмечались в 2000 и 2005 гг. В эти годы запас продуктивной влаги на момент сева и всходов озимых в слое 0–10 см бы недостаточным (5–10 мм). Ситуацию могут выправить осадки, выпадающие в первой половине сентября – это отмечалось в 2001 и 2002 годах, когда после засушливого августа (с осадками в 2 раза ниже нормы) наступал сентябрь, в первой декаде которого выпадали интенсивные осадки.

Оптимальными по влагообеспеченности на момент сева озимых можно признать условия 2003 и 2004 гг. Об этом свидетельствуют запасы продуктивной влаги в пахотном слое, которые составили соответственно 30–50 мм и 30–35 мм. При средних за декаду запасах продуктивной влаги в пахотном слое почвы меньше 5 мм всходы зерновых культур, как правило, не появляются. Удовлетворительное состояние всходов соответствует запасам влаги 12–15 мм, а отличное состояние всходов наблюдают при влажности, близкой к наименьшей влагоемкости. Для суглинистых почв эта величина составляет 40–50 мм, супесчаной – 30–40 мм, песчаной – 20–30 мм.

Сложными для формирования урожая озимых были условия сева в 2000 и 2005 гг. Недостаточное увлажнение в августе – первой половине сентября привело к иссушению почвы (запасы продуктивной влаги в 10-ти сантиметровом слое почвы составляли 5–10 мм).

### Выводы

Таким образом, современные климатические изменения на территории Белгородской области выражаются в следующем: существенно возросла изменчивость запасов продуктивной влаги в пахотном слое почвы в конце лета–начале сентября, что приводит к ухудшению условий для сева озимых культур и, в последующем, пересеву площадей зерновых из-за недостаточного развития растений осенью и повреждения в зимний период. Запасы влаги летнего периода подвержены меньшей изменчивости. Влагообеспечение пахотного слоя почвы весной к началу вегетации близко к многолетним значениям.

### Список литературы

1. Лебедева М.Г., Крымская О.В., Котова М.И. Климатические характеристики вегетационного периода в конце XX века в Центрально-Черноземном регионе // Метеоспектр. – 2007. – № 1. – С. 146–151.
2. Лебедева М.Г., Крымская О.В. Проявление современных климатических изменений в Белгородской области // Научные ведомости БелГУ. – 2008, №3 (43), вып.6. – С. 188–196.
3. Атлас запасов продуктивной влаги в почве под озимыми зерновыми культурами на Европейской части СССР / Под ред. И.А. Гольцберг. – М.: ГУТК, 1983. – 23 с.
4. Агроклиматические ресурсы Белгородской области. – Л.: Гидрометеиздат, 1972. – 91 с.

## STOCKS OF THE PRODUCTIVE MOISTURE UNDER THE AGROCENOSSES IN THE BELGOROD REGION

**O.V. Krymskaya**  
**M.G. Lebedeva**

*Belgorod State National Research University  
Victory St., 85, Belgorod, 3080015, Russia  
E-mail: krymskaya@bsu.edu.ru;  
lebedeva\_m@bsu.edu.ru*

The variability of moisture resources in the topsoil during the vegetation period on the territory of Belgorod region is estimated on the basis of the standard agrometeorological control.

The tendency to formation of the droughty phenomena during the autumn period that reflects modern climatic changes of moistening conditions is revealed.

Key words: the vegetation period, variability of moistening conditions, productive moisture.



УДК 551.48+556(470.325)

## ВОДНЫЙ РЕЖИМ РЕК БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ В УСЛОВИЯХ АНОМАЛЬНОЙ ЖАРЫ 2010 ГОДА<sup>1</sup>

М.Г. Лебедева<sup>1</sup>Г.В. Клубкова<sup>2</sup>С.Н. Колмыков<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85

E-mail: lebedeva\_m@bsu.edu.ru; kolmykov@bsu.edu.ru

<sup>2</sup> Белгородский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, Россия, 308014, г. Белгород, ул. Чумичева, 126

E-mail: belhydro@rambler.ru

Уровни и расходы воды в летний период 2010 года были ниже нормы. Однако по своим величинам в большинстве случаев минимальные расходы и уровни воды не были ниже экстремально низких расходов и уровней воды за весь период наблюдений. Аномальная жара в летний период 2010 года в большей степени отразилась на реках с небольшими водосборными площадями.

Ключевые слова: аномально жаркая погода, уровни и расходы воды на реках.

Климатические показатели 2010 года по Белгородской области были экстремальными с аномально-жарким и засушливым летом, когда отклонения от многолетних значений среднемесячных температур превышали 6 градусов (табл. 1)

Таблица 1

### Отклонение от нормы среднеобластных величин среднемесячной температуры воздуха и среднеобластного количества осадков по Белгородской области в 2010 году

Месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Средняя температура	-12.4	-5.1	-1.4	9.4	17.3	22.1	25.2	25.0	14.7	4.8	6.6	-2.9	8.6
Аномалии температуры воздуха, градус	-4.2	2.2	0.5	1.7	2.5	4.0	5.8	6.5	1.7	-1.6	6.4	1.5	2.2
Количество осадков	46	38.3	23.8	30	64.1	28.1	57.4	25.3	73.4	61	55.9	84.8	588.1
Аномалии среднеобластного количества осадков, %	105	113	74	73	134	45	83	45	153	161	112	173	106

Аномальная жара была вызвана устойчивым блокирующим антициклоном, располагавшимся над территорией России, достигая высот 16 км. Малоподвижный антициклон перекрыл путь западным потокам воздушных масс. Обычно блокирующие антициклоны существуют 5 суток, редко 15. Летом 2010 года блокирующий антициклон существовал более 50 суток. По мнению специалистов, уникальные погодные явления 2010 г. вызваны сочетанием возникновения аномально устойчивого блокирующего

<sup>1</sup> Работа выполнена в рамках Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 гг. Госконтракт № 02.740.11.0675

щего антициклона, чрезвычайно сильной засухи на юге ЕТР и общего повышения температуры, связанного с глобальным потеплением.

Начало метеорологического лета отмечено в очень ранние сроки – 1 мая с устойчивым переходом среднесуточной температурой воздуха через  $+15^{\circ}\text{C}$  в сторону ее дальнейшего повышения – на 2–3 недели раньше климатических сроков и закончилось в сроки, близкие к норме – 2–5 сентября. В целом продолжительность летнего режима погоды составила 125–127 дней – на две-три недели длиннее обычного, и лето было на  $4\text{--}5^{\circ}\text{C}$  теплее многолетней нормы и с большим дефицитом дождей.

Уже в первой декаде мая превышение среднесуточных температур воздуха достигало  $5\text{--}7.5^{\circ}\text{C}$ , а максимальные значения достигали  $28\text{--}29^{\circ}\text{C}$ . Поверхность почвы нагревалась до  $45\text{--}56^{\circ}\text{C}$ . Так же жарко за 110 лет наблюдений было только в 9-и случаях.

В июне сохранялась аномально-жаркая погода с суховейными явлениями. Над Европейской территорией России очаг тепла сформировался над Поволжьем и Южным Уралом. Значения выше  $35^{\circ}\text{C}$  отмечались 2–3 дня и превышали на  $0.5^{\circ}\text{C}$  абсолютный июньский максимум за весь период наблюдений (в Б.Фенино в 1924 г. и в Валуйках в 1954 г. –  $37^{\circ}\text{C}$ , в Белгороде в 1998 г. –  $36.5^{\circ}\text{C}$ ). Таким же жарким июнь был в 1954 и 1981 годах.

Июль был рекордно-жарким в России за весь период наблюдений. Над Европейской территорией России в течение продолжительного времени господствовала сильная жара, благодаря устойчивому антициклону, который закачивал на ЕТР горячий воздух из Средней Азии. Почти каждый день приносил новые температурные рекорды. Ежедневно в июле температуры воздуха наблюдались выше  $25^{\circ}\text{C}$ , в течение 22–23-х дней – выше  $30^{\circ}\text{C}$  и в течение 4–5 дней – выше  $35^{\circ}\text{C}$ . Самыми жаркими днями месяца были 18, 27–28 июля, когда воздух прогревался до  $37\text{--}38.7^{\circ}\text{C}$ . Близкими по значениям максимальные температуры воздуха в июле были лишь в 1996 и 2001 годах ( $36\text{--}38.7^{\circ}\text{C}$ , что считалось абсолютным июльским максимумом температуры воздуха в регионе). Июль в целом оказался самым жарким за весь период наблюдений по Белгородской области.

В течение 22-х дней августа преобладала также аномально жаркая погода, с суховейными явлениями и атмосферной засухой. Очаг тепла, сформировавшийся над центром ЕТР, немного сместился к югу. Отклонение среднесуточных температур воздуха от нормы достигало по Белгородской области  $+8\text{--}11.5^{\circ}\text{C}$ . С максимальными температурами выше  $30^{\circ}\text{C}$  наблюдалось 21–22 дня, выше  $35^{\circ}\text{C}$  – 13–15 дней. Самые высокие температуры за месяц и в целом за лето зафиксированы 2 августа –  $39\text{--}41^{\circ}\text{C}$ , что за многолетний ряд наблюдений отмечалось в августе впервые. Август в целом оказался самым жарким за весь период метеорологических наблюдений по Белгородской области.

Лето 2010 года в целом было засушливым, аномально жарким, с опасными агрометеорологическими явлениями: суховеями, атмосферной и почвенной засухой. Дефицит дождей наблюдался, кроме мая, в каждом из летних месяцев.

Отмечено формирование атмосферной засухи: долгий период без дождей (29–30 дней) отмечен с 29–30 июля по 27 августа всеми метеостанциями области. На западе территории атмосферная засуха сохранялась 61 день (по 1 сентября).

За весь сезон лета суммы осадков по области распределились очень неравномерно: меньше нормы в два раза осадки наблюдались в Старом Осколе (северо-восток территории), Готне (запад) и Белгороде (центр) – 130–150 мм. На остальной территории осадки были около нормы – 215–250 мм. Среднеобластное количество дождей соответствовало 182 мм – 77% от средних многолетних значений.

В данной статье изучены и проанализированы материалы наблюдений за уровнем режимом и стоком воды по данным гидрологических постов ГУ «Белгородский ЦГМС» за летне-осеннюю межень 2010 г. В качестве объектов были выбраны данные наблюдений гидрологических постов на реках Северский Донец у с. Киселево (площадь водосбора  $740\text{ км}^2$ ), Ворскла у с. Козинка (площадь водосбора  $1870\text{ км}^2$ ) и Оскол у р.п. Раздолье (площадь водосбора  $8640\text{ км}^2$ ) (рис. 1).

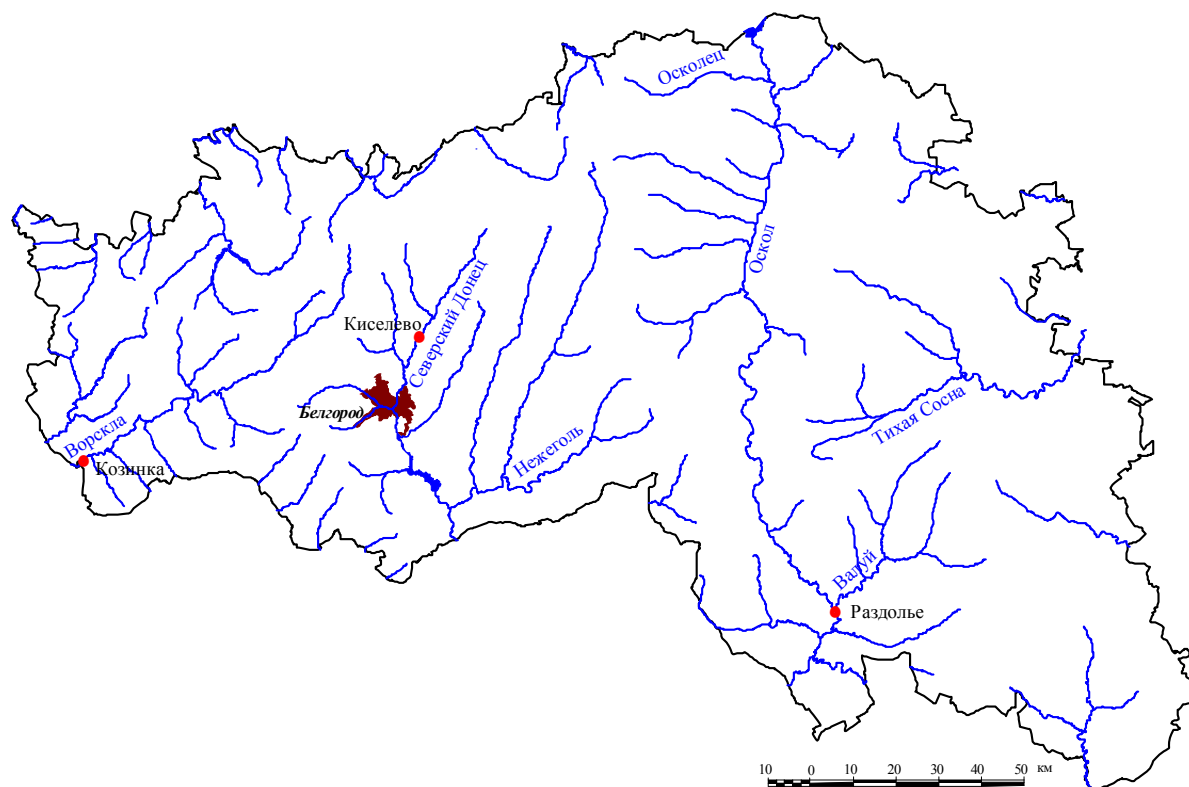


Рис. 1. Основные водные объекты Белгородской области и размещение на них гидрологических постов

Бассейны рек расположены в зоне, в которой формирование стока происходит в условиях дефицита водных ресурсов. Испарение в несколько раз превышает осадки. Основной сток (60–80 % годового объема) приходится на весеннее половодье.

Наибольшую роль в формировании минимального стока рек в период летне-осенней межени оказывают климатические условия: атмосферные осадки, температура воздуха, испарение с водной поверхности и транспирация водной растительности.

Атмосферные осадки оказывают наибольшее влияние, без них немыслимо возникновение и развитие речного стока. Вместе с конденсировавшейся в бассейне влажной осадки являются главным источником всех вод на водосборе. Остальные природные факторы, не относящиеся к климатическим, в основном регулируют эту влагу, перераспределяя ее во времени и пространстве. Поступления влаги на водосбор наиболее характеризуется суммами осадков, отличающимися большой пространственно-временной неустойчивостью. Летние осадки очень мало повышают уровень грунтовых вод. Недостаточное количество летних осадков обуславливает интенсивную сработку запасов подземной влаги на испарение и сток и влечет за собой формирование на реках низких уровней и расходов воды. Температура воздуха оказывает влияние на сток через скорость испарения с площади речного зеркала и транспирацию водной растительности.

Анализируя характеристики водного режима рек Белгородской области в 2010 году, можно сделать следующие выводы: водный режим рек изменялся в соответствии с климатическими факторами (рис. 2–9). Аномальная жара в летний период 2010 года в большей степени отразилась на реках с небольшими водосборными площадями. Так, по постам Киселево и Козинка уровни и расходы воды в этот период были ниже нормы. По посту Киселево в этот период наблюдались расходы воды с обеспеченностью 92 %, а по посту Козинка 78%.

По посту Раздолье на уречный режим в летний период 2010 года высокая температура воздуха повлияла в меньшей степени – уровни воды были выше нормы, а сток воды менее многолетних значений наблюдался только в мае и августе. Обеспеченность расходов воды за период летне-осенней межени составила 40%.



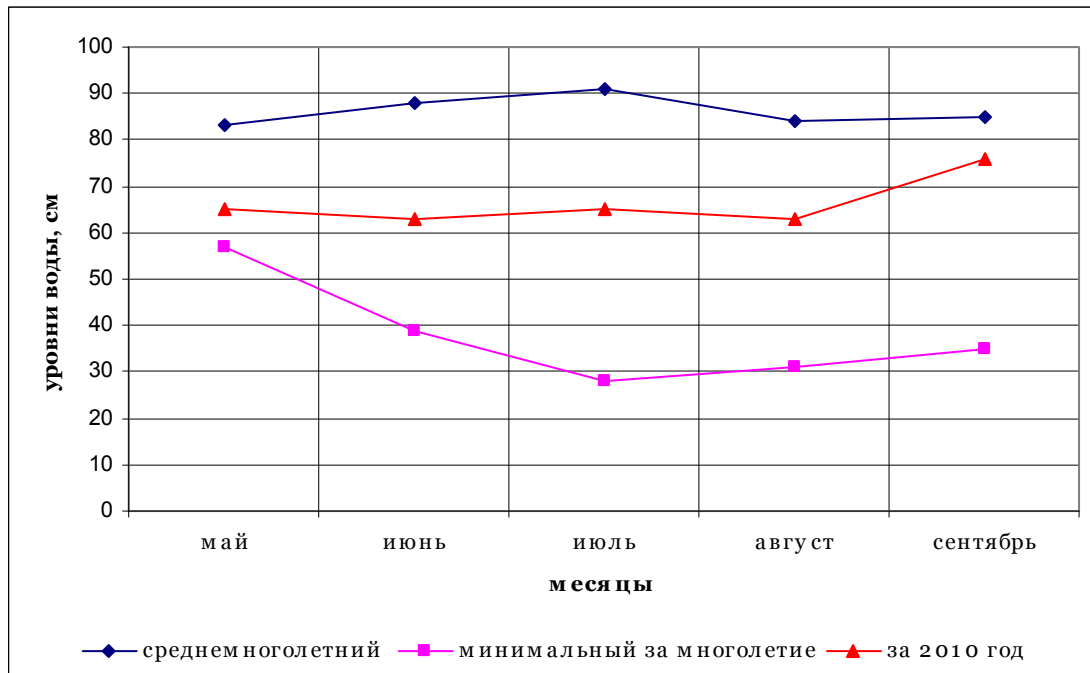


Рис. 2. Динамика уровня воды по р. Северский Донец у с. Киселево за период летне-осенней межени

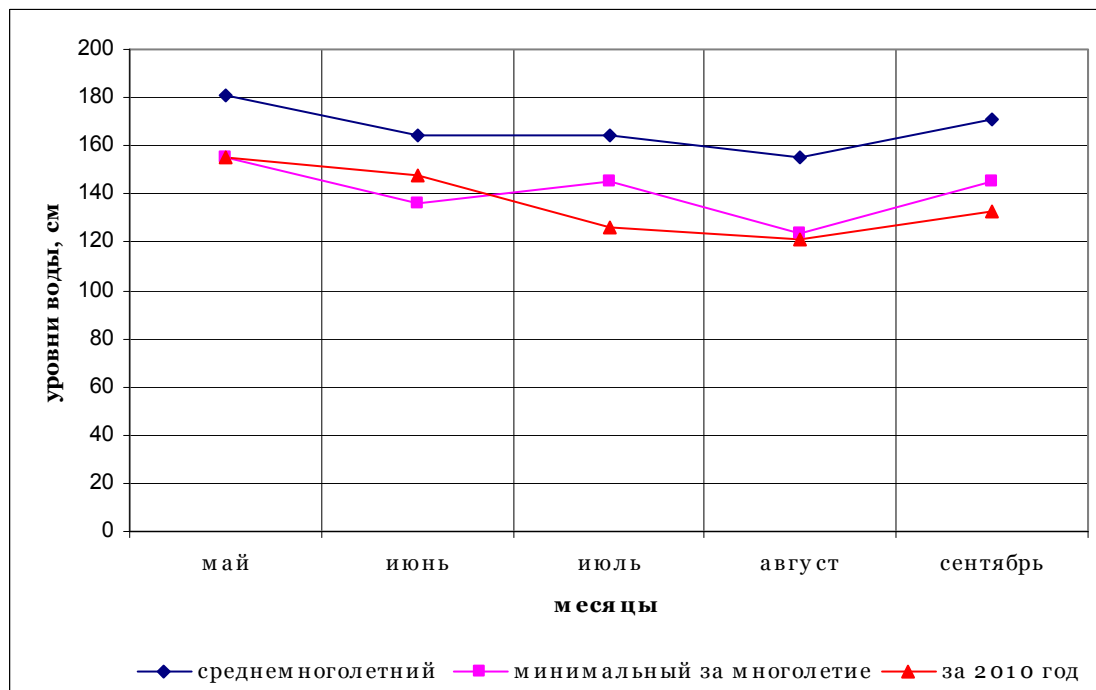


Рис. 3. Динамика уровня воды по р. Ворскла у с. Козинка за период летне-осенней межени

По посту Киселево близкие по значению к 2010 году уровни и расходы воды наблюдались в 1963 и 1972 годах, самые минимальные в 1975 году. По посту Козинка близкие по значению к 2010 году уровни и расходы воды наблюдались в 1930 и 1940 годах, самые минимальные в 1946 году. По посту Раздолье близкие по значению к 2010 году уровни и расходы воды наблюдались в 1961, 1964, 1967, 2008, 2009 годах, самые минимальные в 1975 году.

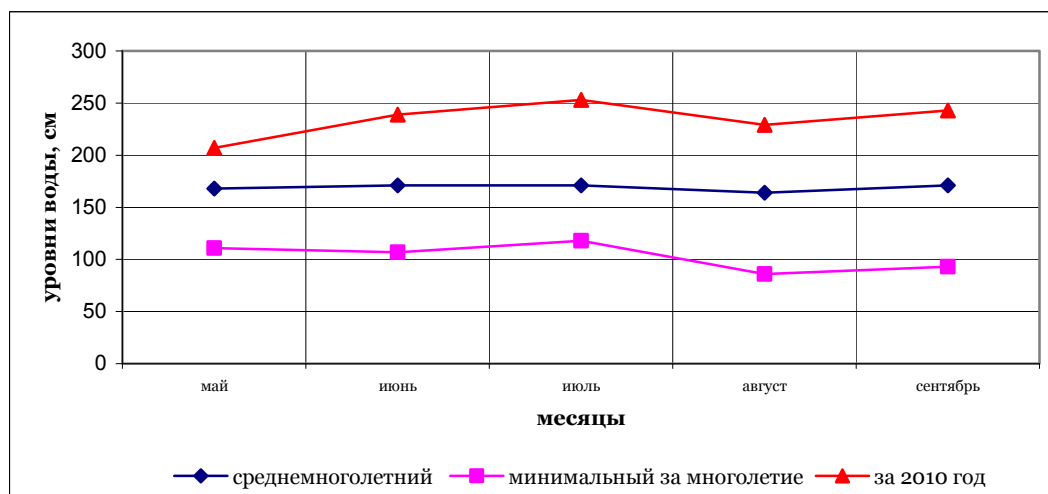


Рис. 4. График уровней воды по р. Оскол у р.п. Раздолье за период летне-осенней межени

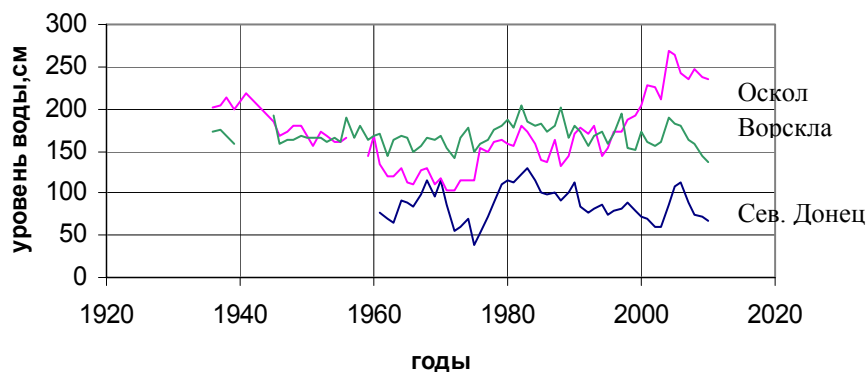


Рис. 5. Совмещенный график динамики средних уровней воды за период летне-осенней межени

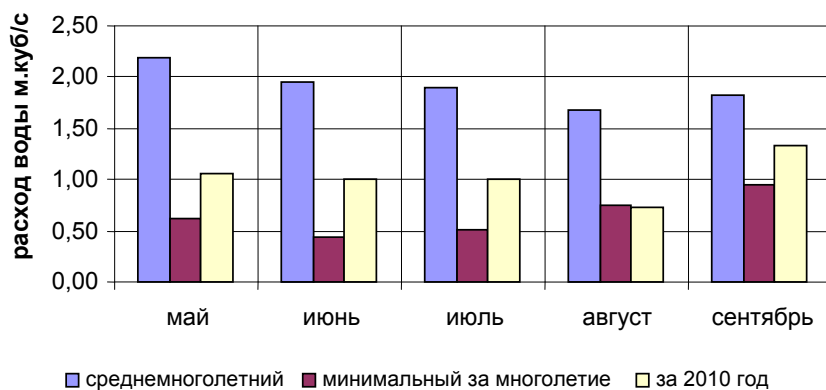


Рис. 6. Гидрограф стока по р. Северский Донец у с. Киселево за период летне-осенней межени

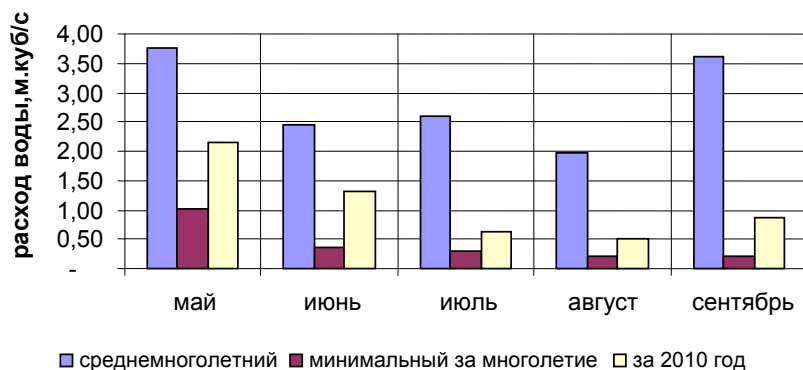


Рис. 7. Гидрограф стока по р. Ворскла у с. Козинка за период летне-осенней межени

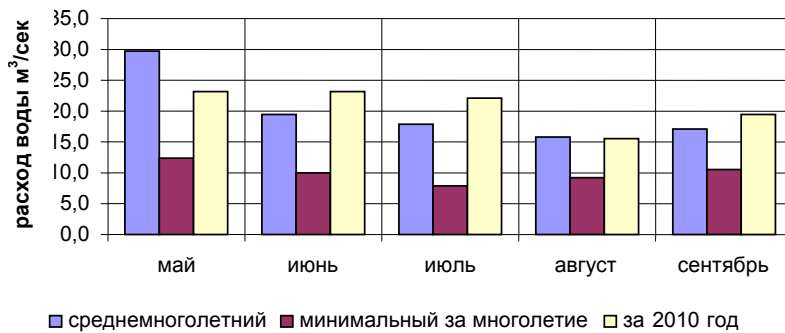


Рис. 8. Гидрограф стока по р. Оскол у р.п. Раздолье за период летне-осенней межени

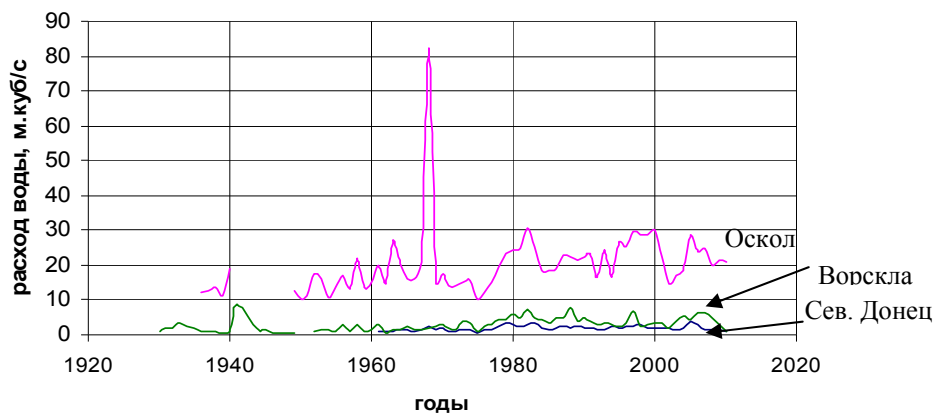


Рис. 9. Совмещенный гидрограф стока за период летне-осенней межени

Таким образом, август 2010 года оказался самым жарким за весь период наблюдений. Соответственно, и пониженная водность рек наблюдалась на большинстве рек Белгородской области. Однако, по своим величинам в большинстве случаев минимальные расходы и уровни воды не были ниже экстремальных низких расходов и уровней воды за весь период наблюдений.

Исключение составили: по посту Киселево в августе расходы воды наблюдались ниже минимального расхода за этот месяц, уровни воды по посту Козинка в июле и августе были ниже минимальных значений за эти месяцы.

К этому можно еще добавить, что на водном режиме рассматриваемых рек сказывалась водохозяйственная деятельность человека. На режим Северского Донца влияет сеть водозаборных сооружений по пойме реки, на р. Ворскла в 4 км выше поста - шлюзорегулятор.

В летний период 2010 года наблюдалось бурное развитие водной растительности, вследствие чего на многих участках рек скорости воды были минимальными.

Аномальная жара 2010 года повлияла не только на летний меженный период 2010 года, но и на весеннее половодье 2011 года.

### Список литературы

1. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2010 год. – М, 2011. – 66 с.
2. Курдов А.Г. Минимальный сток рек (Основные закономерности формирования и методы расчета). – Воронеж, 1970. – 252 с.
3. ЕДС 2010 по бассейнам р. Дона. Т. 1, Вып. 3, р. Днепр.
4. Соколовский Д.Л. Речной сток. – Л.: Гидрометиздат, 1959. – 528 с.
5. Фондовые материалы Белгородского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды.



## THE HYDROLOGY REGIME OF THE RIVERS OF THE BELGOROD REGION IN THE ANOMALY HEAT 2010

**M.G. Lebedeva**<sup>1</sup>

**G.V. Klubkova**<sup>2</sup>

**S.N. Kolmykov**<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Belgorod State Nftional Research  
University  
Pobedy St., 85,  
Belgorod, 308015, Russia*

*E-mail: lebedeva\_m@bsu.edu.ru;  
kolmykov@bsu.edu.ru*

<sup>2</sup> *Belgorod Center for  
Hydrometeorology and Monitoring  
of Environment  
Chumicheva St., 126, Belgorod,  
308014, Russia*

*E-mail: belhydro@rambler.ru*

Water consumption and levels of water in the summer of 2010 were below the line. However, quantitative comparison in most cases revealed that the minimum consumption and water levels were not below the extreme low water levels and consumption during the whole control period.

Abnormal heat in the summer season of 2010 had more effect on the rivers with the small catchment areas.

Key words: abnormally hot weather, water levels and water consumption on the rivers.

## ОСОБЕННОСТИ ФЕНОЛЬНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ РЕК КУРСКОЙ И БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТЕЙ<sup>1</sup>

**М.В. Кумани**<sup>1</sup>

**Ю.А. Соловьева**<sup>2</sup>

**А.Г. Корнилов**<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Курский государственный университет, 305000, Курская область, г. Курск, ул. Радищева, 33  
E-mail: kumanim@yandex.ru

<sup>2</sup> ВНИИ земледелия и защиты почв от эрозии, г. Курск 305021, г. Курск, ул. К. Маркса, 70б

<sup>3</sup> Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85  
E-mail: kornilov@bsu.edu.ru

Отмечено увеличение концентрации фенолов в реках Центрального Черноземья. В результате обследования водосборов, в большинстве из них не были выявлены точечные источники поступления фенолов в реки. Проанализирована сезонная динамика концентрации фенолов в створах, испытывающих воздействие урбанизированных территорий, и в створах, испытывающих воздействие сельскохозяйственного производства.

Ключевые слова: фенолы, сезонная динамика, диффузные источники, загрязнение.

Фенолы входят в разработанный странами ООН перечень приоритетных веществ, загрязняющих биосферу, и относятся к широко распространенным ароматическим веществам водной среды и донных отложений. Токсичность фенолов зависит от строения, положения и количества радикалов, от растворимости в воде и жирах. Многоатомные фенолы при длительном поступлении в организм человека нарушают ферментативные процессы. Одноатомные фенолы способны быстро окисляться, и в результате этого они ухудшают кислородный режим в природных водоемах. Рыбохозяйственная предельно допустимая концентрация (ПДК) фенолов составляет 0.001 мг/л, лимитирующий признак вредности – рыбохозяйственный.

Считается что фенолы, активно используемые в химической, деревообрабатывающей, фармацевтической, кожевенной и др. промышленности, поступают в реки извне и являются исключительно техногенными загрязнителями водной среды. Однако в последние годы в Курской (и других областях Центрального Черноземья) наблюдается тенденция увеличения концентрации фенолов в реках, особенно в малых. Если, например, в 80-е годы XX века фенолы в большинстве случаев не обнаруживались в реках Курской области, а в очень редких случаях их концентрация составляла 1, максимум 2 ПДК, то сейчас фенолы присутствуют практически во всех реках (особенно малых) и их концентрация может составлять 1.5-15 ПДК в летний период.

В результате исследований содержания фенолов в реках Курской области, проводившихся Территориальным центром «Курскгеомониторинг» в 2006 году (пробы отбирались в фоновых и контрольных створах для Курска и на реке Псел ежемесячно, в створах на реках Виногробль (устье), Свапа (Михайловка), Сейм (Льгов, Рыльск, Теткино) – 6 раз в год, Оскол (Бараново, Никольское, Федосеевка), Геросим – 4 раза в год, было выявлено, что в фоновом для г. Курска створе, расположенном на реке Сейм (Лебяжье) фенолы отсутствуют. В фоновом створе на Тускари выше Курска (Щетинка) содержание фенолов не превышает ПДК (составляет 0.0005 мг/л). В сточных водах с очистных сооружений ВКХ г. Курска (сброс этих вод осуществляется в реку в Сейм) ПДК по фенолам превышает в 13 раз. В створе на реке Сейм, расположенном ниже Курска (Анахино), ПДК по фенолам превышает в 3.5 раза. Таким образом, Сейм

<sup>1</sup> Выполнено при поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 гг. Госконтракт № 02.740.11.0675



подвергается фенольному загрязнению на территории г. Курска в результате сбросов с очистных сооружений и стока загрязняющих веществ с урбанизированной территории. Ниже по течению реки происходит значительное разбавление фенолов, их окисление и разложение. Поэтому в створах, расположенных на Сейме ниже Курска (Льгов, Рыльск, Теткино), фенолы уже не обнаруживаются. Практически полное отсутствие фенолов характерно для рек Псёл и Свапа. Аналогичную закономерность можно проследить на примере некоторых рек Белгородской области по данным ФГУ «Управление эксплуатации Белгородского водохранилища», например, в р. Северский Донец, принимающей сточные воды с территории крупного промышленного центра – г. Белгорода, либо непосредственно с ливневыми стоками, в т.ч. через городской приток – р. Везёлка (контрольный створ «Болховец»), либо после городских БОС по реке Разуменка. Концентрации фенолов в р. Разуменка регистрировались, в основном, в пределах 0.0038–0.007 мг/л, в Болховце – 0.001–0.003. Ниже, в Северском Донце на верхнем бьефе Белгородского водохранилища концентрации фенолов составляют 0.001–0.004 мг/л (в среднем 0.0027), а в нижнем бьефе – 0.001–0.005 (в среднем 0.0028). Далее в конце незарегулированного участка у с. Таволжанка средние значения 0.0009 мг/л при максимумах до 0.001–0.002. В р. Оскол по Белгородской области у с. Федосеевка содержание фенола составляет, в среднем, 0.0007 мг/л при редких максимумах 0.002–0.005, а ниже, у с. Дулучное – в среднем 0.0006, при максимумах до 0.001–0.002. Таким образом, относительно большие и средние реки в силу их хорошей аэрации, большой водности, способности к самовосстановлению, справляются с антропогенным фенольным загрязнением [1].

Совсем по-другому складывается ситуация с малыми реками, водосбор которых полностью расположен в пределах агроландшафтов. В реке Виногробль, впадающей в Тускарь, ПДК по фенолам в устье превышает более чем в 3 раза. В результате отбора проб, произведенного на реках бассейна Дона, обнаружилось, что на реке Оскол в пунктах гидрохимических наблюдений в с. Бараново, с. Никольское (выше Старооскольского водохранилища) и ниже водохранилища в с. Федосеевка, наблюдается превышение ПДК по фенолам в 1.7–2 раза. Старооскольское водохранилище, которое должно служить барьером для фенолов, усиливая процессы их фотохимического разложения за счёт большой площади поверхности, не справляется с возникшей фенольной нагрузкой [2]. В реке Геросим, впадающей в Оскол, ПДК по фенолам превышает иногда ещё более значительно.

Данные наблюдений Гидрометфонда и ТЦ «Курскгеомониторинг» за 2002–2008 годы показывают, что в целом малые реки бассейна Дона на территории Курской области в большей степени подвержены фенольному загрязнению, чем реки бассейна Днепра. В пределах Курской области находятся истоки и верхнее течение рек Тим, Кшень, Олым и Оскол. Эти реки, со своими ещё меньшими по длине притоками, не принимают сточных вод предприятий. Таким образом, техногенные фенолы не поступают в их воды. В Белгородской области также эпизодически наблюдаются относительно высокие концентрации фенола на реках, не связанных с крупными промышленными центрами: рр. Топлинка, Волчья, Уды, Лопань, Харьков, Потудань, Ворсклица (до 0.001–0.006).

Участившиеся в последние годы случаи значительного превышения в малых реках ЦЧР ПДК фенолов при отсутствии их точечных сбросов, дают основание для исследования водосборов этих рек и установления источников загрязнения. В результате исследования водосборов малых рек, испытывающих фенольное загрязнение, было выяснено, что доля пашни на их водосборах составляет значительную долю (60–80%), а в их поймах происходит выпас скота. Реки перенасыщены органическими и биогенными соединениями. Как следствие, в вегетационный период в них интенсивно развивается водная растительность. Вышеперечисленные характеристики малых рек агроландшафтов указывают на их значительное антропогенное эвтрофирование [3]. Таким образом, фенолы в этих реках могут образовываться в результате внутриводоемных биохимических процессов [4]. Такая картина, как это видно из приведенных в данной статье данных, характерна для верховий многих рек Центрального Черноземья: их воды содержат большое количество органики, которая при разложении загрязняет водо-

емы и водотоки фенолами. Как следствие, отдельные участки водотоков находятся в состоянии, не соответствующем «региональной норме», они трансформированы под воздействием этих загрязнений [4].

Можно предположить, что фенольные соединения, образующиеся из различных предшественников природного и антропогенного происхождения, могут служить индикаторами интенсивности вторичного загрязнения водных экосистем, что отчасти показано ниже.

Сезонная динамика концентраций фенолов вышеупомянутых статистических данных рассматривалась нами как в пунктах и створах рек, испытывающих влияние урбанизированных территорий и очистных сооружений, так и в пунктах и створах рек агроландшафтов. В результате было выявлено, что в створах рек, испытывающих влияние урбанизированных территорий и очистных сооружений, сезонная специфика содержания фенолов отсутствует. Пики концентраций фенолов наблюдались в разные гидрологические сезоны года и были обусловлены внешними источниками – сбросами с очистных сооружений и стоком загрязняющих веществ с урбанизированных территорий.

В результате наших исследований, проводившихся в 2005–2007 гг. в верховьях малых рек агроландшафтов (пробы отбирались на реках Виногробль, Оскол, Кшень, Геросим, ежемесячно), выявлена сезонная динамика хода концентраций соединений фенольного ряда (рис. 1). При этом в летний и зимний периоды часто наблюдалось превышение их ПДК.

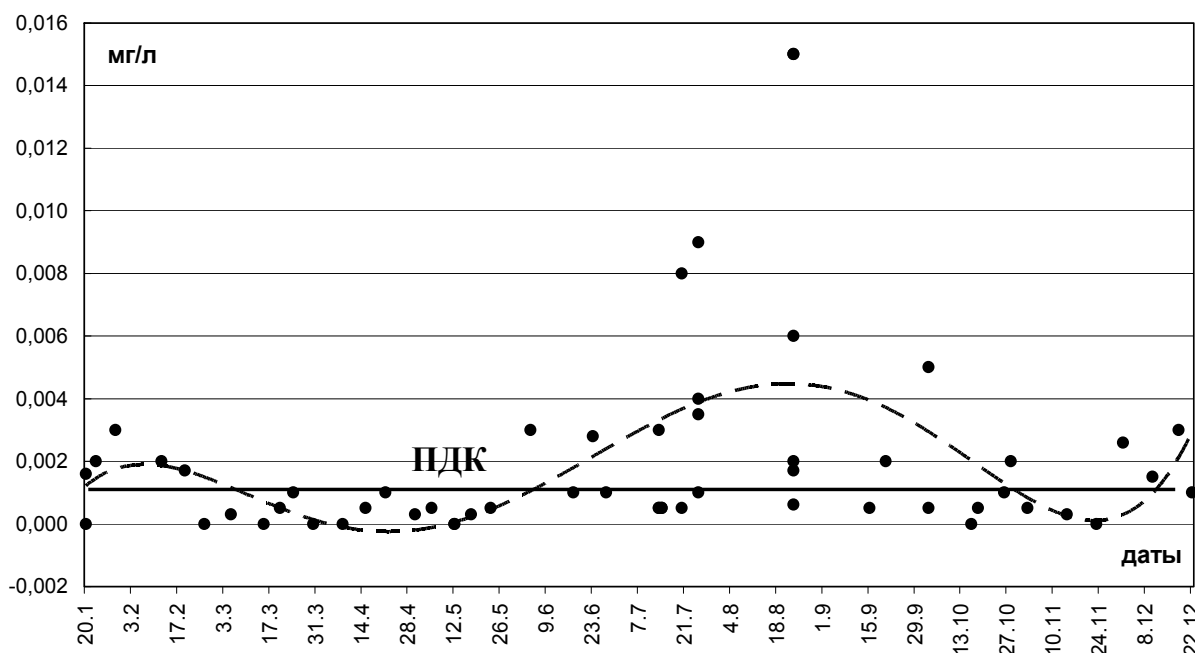


Рис. 1. Содержание фенолов по сезонам года в реках агроландшафтов

Летний пик концентраций связан с повышением температуры воды и активизацией процессов образования соединений фенольного ряда при разложении органического вещества различного происхождения, несмотря на то, что с ростом температуры идёт обратный процесс – увеличивается скорость распада фенолов. Зимние пики концентраций, возможно, обуславливаются ингибированием процессов микробиологической деградации фенолов, а также тем, что разложение других ароматических соединений могло приостановиться на стадии фенолов. В весенний и осенний период, при отсутствии выраженного антропогенного воздействия, чаще всего наблюдается снижение концентраций фенолов в воде.

Фенолы, образующиеся в результате биохимических процессов в водоемах, можно условно назвать автохтонными. Эти фенолы должны иметь взаимосвязи с раз-



личными веществами и показателями, которые должны дать понять, при каких условиях осуществляется их образование. Для этого в исследуемых пробах, бравшихся в реках агроландшафтов, определялись не только фенолы, но и другие органические и биогенные вещества и показатели (нитраты, нитриты, аммонийный азот, температура воды, растворенный кислород, БПК<sub>5</sub>, ХПК, нефтепродукты). По полученным данным были построены графики, показывающие зависимость содержания фенолов от значений концентрации различных веществ и других показателей. По одной из осей откладывались значения концентрации фенолов, по другой – соответствующие им значения показателей или концентраций сопутствующих веществ. Кроме того, для каждого наблюдаемого вещества был проведен анализ парных корреляций с фенолами.

Наибольшее количество случаев обнаружения фенолов отмечается при температурах воды +20-25°C, что указывает на летний пик концентраций фенолов в реках агроландшафтов. Предполагается, что при значениях температуры выше +25°C фенолы не обнаруживаются, так как активизируются процессы их разложения до воды и углекислого газа, хотя необходимо отметить, что реки региона исследования редко прогреваются в летний период до более высоких температур. При значениях меньше +10°C фенолов тоже крайне мало, т.е. интенсивного образования соединений фенольного ряда не происходит.

Связь с содержанием кислорода почти такая же, как и с температурой воды: фенолы обнаружены преимущественно при содержании кислорода от 6 до 10 мг/л. При содержании растворенного кислорода более 10 мг/л происходит интенсивное окисление фенолов, а при значениях меньше 6 мг/л образование соединений фенольного ряда затруднено вследствие низкой аэрации. Предположительно, показатели содержания фенолов, в зависимости от температуры воды и концентраций растворенного кислорода, иллюстрируют свойства автохтонных фенолов в природных водах: их способность переходить в растворенное состояние в результате биохимических внутриводоемных процессов при значениях температуры воды от +10 до +25 °C и концентрациях растворенного кислорода от 6 до 10 мг/л.

На рис. 2 приводится график, отражающий зависимость концентраций фенолов от БПК<sub>5</sub>. Малые значения БПК говорят о малых концентрациях органических соединений в реках. Поэтому фенолы начинают обнаруживаться при значениях БПК более 1.09 мг/л. На графике есть автохтонная зона, в которой, в общих чертах, прослеживается прямая зависимость – чем больше концентрации фенолов, тем больше значения БПК. Однако зависимость фенолов от БПК имеет умеренную тесноту связи, так как БПК – общий показатель для всех органических веществ, и доля фенолов среди них может значительно варьировать. Правая область вышеуказанного графика условно названа зоной низкой аэрации, так как при больших значениях БПК окисление органических соединений до автохтонных фенолов затруднено, и их присутствие может быть связано с внешними источниками поступления.

Таким образом, анализ парных корреляций фенолов для рек Курской области выявил зависимость их содержания от БПК<sub>5</sub> (коэффициент корреляции 0.4) и нитратного азота (коэффициент корреляции 0.63). Связь с нитратным азотом указывает на схожие условия аэрации, благоприятные для образования как нитратов, так и фенолов. При этом сезонная динамика нитратов не повторяет сезонную динамику фенолов, так как эти химические вещества образуются в результате различных внутриводоемных процессов.

В ряде случаев схожие результаты наблюдаются для рек Белгородской области, хотя есть реки и с альтернативными тенденциями (табл. 1).

В таблице представлены разные типы рек Белгородской области: р. Ворскла, преимущественно без крупных предприятий в водосборном бассейне (за исключением Яковлевского рудника), р. Северский Донец, зарегулированная в черте г. Белгорода и Белгородским водохранилищем, р. Оскол, протекающая через крупный населенный пункт – г. Старый Оскол, ряд более маленьких рек, имеющих официальные посты наблюдения.



Четкие функциональные зависимости содержания фенолов от концентрации растворенного кислорода, температуры воды, значений БПК в результате анализа данных по всей совокупности рек Белгородской области получены не были. Но для ряда рек, имеющих значительную сельскохозяйственную (р. Ворскла), а также наряду с сельскохозяйственной, населенческую нагрузку (р. Северский Донец), прослеживается связь концентрации фенолов с некоторыми веществами и показателями аналогично рекам Курской области.

Таким образом, рассмотренные данные загрязнения «малых рек агроландшафтов» и сезонный ход концентраций фенолов на этих реках указывают на значительную долю содержания соединений фенольного ряда автохтонного происхождения, что должно учитываться при подборе мероприятий по оздоровлению малых рек (сокращение диффузного стока, организация оптимального промывного режима, проектирование водоохраных полос и т.п.).

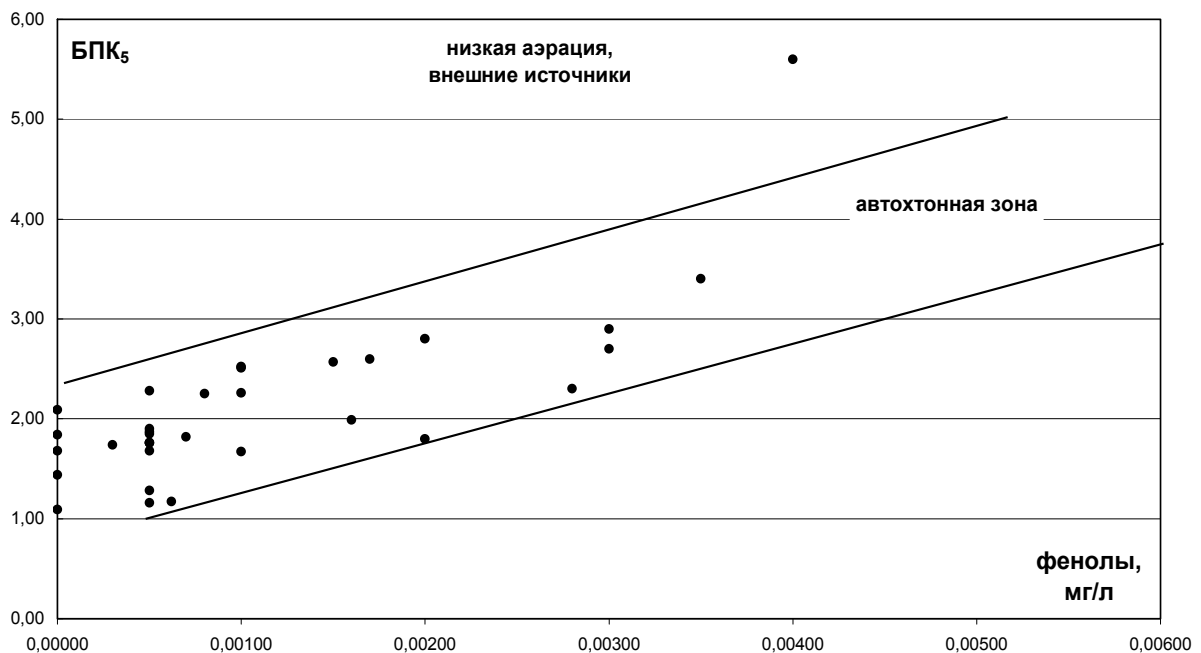


Рис. 2. Содержание фенолов в зависимости от значений БПК<sub>5</sub>

Таблица 1

**Коэффициенты корреляции содержания в воде фенолов и сопутствующих веществ в реках Белгородской области**

Река	Показатели						
	$NH_4$	$NO_3$	$NO_2$	СПАВ	$PO_4$	БПК <sub>5</sub>	Взвешенные вещества
Ворскла	0.12	0.23	0.26	0.06	0.07	0.38	-0.05
Северский Донец	0.50	0.13	0.28	0.28	0.15	0.45	0.41
Оскол по 2 постам	0.01	0.03	0.08	0.03	-0.07	0.07	0.05
Оскол, пост у с. Федосеевка	0.03	0.03	0.13	0.05	0.09	0.11	0.05
Оскол у с. Двудачное	0.04	0.12	-0.20	0.16	0.11	0.19	0.17
Совокупность малых рек Белгородской области	0.17	-0.02	0.11	0.14	0.14	0.10	0.09
Совокупность всех наблюдаемых рек Белгородской области	0.28	0.05	0.35	0.35	0.07	0.25	0.07



### Список литературы

1. Соловьева Ю.А. Влияние эрозионных и русловых процессов на фенольное загрязнение рек // Общие и прикладные вопросы эрозионных и русловых процессов. – М: Географический факультет МГУ, 2006. – С. 216–219.
2. Корнилов А.Г., Колмыков С.Н. Дифференциация антропогенной нагрузки и показателей качества воды на примере реки Оскол Белгородской области // Южно-российский вестник геологии, географии и глобальной энергии. – 2006. – № 5. – С. 41–42.
3. Крыленкова Н.Л. Фенолы // Ладожское озеро: прошлое, настоящее, будущее. – СПб.: Наука, 2002. – С. 101–106.
4. Кумани М.В., Соловьева Ю.А. Загрязнение малых рек ЦЧО фенолами и биогенными веществами // Геоэкологические исследования Курской области. – Курск: Изд-о Курского гос. ун-та, 2005. – С. 133–142.

## PECULIARITIES OF PHENOL CONTAMINATION OF THE RIVERS OF KURSK AND BELGOROD REGIONS

**M.V. Kumani<sup>1</sup>**

**Yu.A. Solovyeva<sup>2</sup>**

**A.G. Kornilov<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> *Kursk State University  
Radiischeva St., 33, Kursk, 305000,  
Russia*

<sup>2</sup> *All-Russia Research Institute of  
Arable Farming and Soil Erosion  
Control, K. Marksa St., 706, Kursk,  
305021, Russia*

<sup>3</sup> *Belgorod State National Research  
University, Pobedy St., 85,  
Belgorod, 308015, Russia*

*E-mail: korniliv@bsu.edu.ru*

Increase of phenols concentration in the rivers of Kursk Region has been observed. The results of catchment investigation have shown no point sources of phenols intake in the rivers. Seasonal dynamics of phenol concentrations at the control points affected by urbanized areas and at those affected by agricultural production has been analyzed.

Key words: phenols, seasonal dynamics, diffusive sources, contamination.

## СОЦИАЛЬНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ КРУПНЫХ ГОРОДОВ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ<sup>1</sup>

**Е.А. Бобров**

*Смоленский гуманитарный университет, Россия  
214014, г. Смоленск, ул. Герцена, 2  
E-mail: bobrov\_ea@shu.ru*

Проведен анализ современных тенденций в развитии социально-экологической ситуации в пределах крупных городов. Выявлены основные направления и масштабы техногенной трансформации отдельных природных компонентов городских геосистем, а также социально-экологические последствия развития городских территорий. Определены возможные пути оптимизации социально-экологической обстановки в пределах природно-антропогенных комплексов городов.

Ключевые слова: урбанизация, город, городские геосистемы, техногенная трансформация, социально-экологические проблемы, оптимизация.

### Введение

Города являются ведущей формой территориальной и социально-экономической организации современного общества. Многочисленные научные и технические успехи, широко развитая социальная инфраструктура и многие другие достижения современного общества способствовали созданию здесь так называемой «брони цивилизации», которая призвана обеспечить полноценное развитие человека как биосоциального существа. Однако, с другой стороны, именно в крупных промышленных городах, где степень техногенной нагрузки на природные компоненты ландшафта особенно велика с наибольшей остротой проявляются проблемы трансформации всех элементов природной среды и активизации ряда негативных природных процессов. Практически все исследователи, занимающиеся изучением экологии городов, отмечают существенные негативные последствия урбанизации территорий [1–6 и др.].

Негативные изменения в экологической ситуации неизбежно приводят к ухудшению качества жизни горожан, затрагивая практически все стороны их жизнедеятельности. Существенное ухудшение экологической обстановки в городах приводит к целому ряду серьезных социальных проблем, к числу которых относятся снижение продолжительности жизни и периода активной деятельности городских жителей, рост показателей заболеваемости и смертности, ухудшение психического и социального здоровья, что выражается в широком распространении различных форм девиантного поведения (наркомании, алкоголизма и др.), росте правонарушений и т.д. [7–13 и др.]. Во многих городах существенно ухудшаются условия для занятий спортом, организации отдыха, остается все меньше возможностей для удовлетворения многих других материальных и духовных потребностей человека.

В разных городах в зависимости от конкретных природных условий, развития тех или иных производств, особенностей застройки, озеленения и т.д. складывается определенная социально-экологическая ситуация. Изучение ее необходимо вести в каждом городе и особенно в крупных городах, где происходят наиболее значительные изменения в состоянии ландшафтно-техногенных систем. Такие исследования осуще-

<sup>1</sup> Работа выполнена в рамках ГК № 14.740.11.0956 от 29.04.2011г., Шифр лота - 2011-1.4-505-003/ Наименование лота - «Проведение поисковых научно-исследовательских работ в целях развития общероссийской мобильности в области наук о Земле, экологии и рациональном природопользовании»/ Обобщенная тема ПНИР - Разработка методов и подходов к комплексной оценке и ингибированию техногенного воздействия на окружающую среду.



ствляются пока в большинстве городов на недостаточно высоком уровне, что является препятствием для разработки эффективных механизмов оптимизации состояния городских территорий, решения социально-экологических проблем их развития.

### **Объекты и методы исследования**

Цель данной работы – выявление современного состояния и тенденций развития социально-экологической обстановки в пределах крупных городов на основе анализа основных направлений и социальных последствий техногенной трансформации отдельных природных компонентов городских геосистем и определение путей оптимизации природно-антропогенных комплексов городских территорий.

В качестве объекта исследования используются городские территории, которые рассматриваются как комплекс природно-антропогенных и социально-экологических систем.

Для решения поставленных задач используются сравнительно-географический, ландшафтный, химико-аналитический и статистический методы исследования.

Социально-экологическая диагностика городских территорий представляет собой комплексные исследования геосистем. Она включает выявление, анализ и оценку многочисленных и сложных взаимосвязей между природными и техногенными компонентами городских ландшафтов, а также изучение социальных последствий изменения их состояния в целях оптимизации качества городской среды. Имея комплексный характер, социально-экологический анализ ориентирован, прежде всего, на системное исследование прямых и обратных связей между техногенным воздействием на природный комплекс и его влиянием на население и хозяйство города [9]. Город при этом рассматривается как сложная природно-социальная система, все связи между элементами которой ориентированы на человека (общество), который является ее главным системообразующим звеном [10, 12].

### **Результаты и их обсуждение**

Развитие городов неизбежно приводит к трансформации практически всех компонентов природной среды. Основные направления и интенсивность этого процесса зависят от целого ряда факторов и прежде всего от размеров и возраста города, его функций, отраслевой структуры промышленности, особенностей природных условий и др. Мощный и многообразный техногенный пресс на природу в условиях современного крупного города, концентрируясь на ограниченной территории приводит к угнетению, подавлению всех компонентов природного ландшафта с одной стороны и активизации ряда негативных природных процессов – с другой. Природная среда в пределах больших городов характеризуется специфическим характером и качеством своих компонент, что выражается в наличии искусственного рельефа, определенном характере растительного и животного мира, формировании особого городского микроклимата и др.

Наиболее заметное и значительное влияние урбанизация оказывает на состояние атмосферного воздуха, почв и водных объектов.

Кардинальное изменение теплофизических свойств подстилающей поверхности на территории города в процессе урбанизации способствует образованию специфического городского микроклимата. В крупных городах средних широт отмечается повышение температуры воздуха, понижение общей и ультрафиолетовой радиации, скорости ветра, относительной влажности, увеличение облачности, количества осадков, числа дней с туманами и другие микроклиматические изменения [13, 14]. Результаты проведенных нами наблюдений в г. Смоленске позволяют выявить хорошо выраженные микроклиматические особенности территории города. Средняя за период наблюдений температура воздуха на площадке, расположенной в городе оказалась выше, чем в пригороде на 0.2–2.2°C, а средняя разница в температуре почвы между двумя опытными площадками составила 1.3°C. Увеличение среднесуточных температур воздуха в городе, по сравнению с пригородом, связано со значительным тепловым загрязнением от многочисленных стационарных и передвижных источников, повышенными концентрациями в атмосферном воздухе ряда загрязняющих веществ, обла-

дающих парниковым эффектом (прежде всего диоксида углерода), значительным уменьшением альbedo подстилающей поверхности, а также с уменьшением в структуре теплового баланса городской территории затрат тепла на испарение, в связи с увеличением доли поверхностного стока в условиях повсеместного распространения водонепроницаемых покрытий. Особенно резко разница в температуре воздуха была выражена в светлое время суток, когда в пределах города формируется «остров тепла». Ночью, напротив, охлаждение поверхности городского пространства происходит более интенсивно. Именно поэтому для площадки, расположенной в городе, были характерны большие по сравнению с естественными ландшафтами суточные амплитуды колебания температур [13].

Относительная влажность в связи с более высокой температурой воздуха в городе за период наблюдений оказалась ниже в среднем на 7.8%, общая облачность в среднем на 1 балл была выше в городе [13].

Значительная трансформация микро- и мезоклиматических условий в пределах городской территории может сопровождаться целым рядом негативных последствий, в числе которых следует, прежде всего, выделить активизацию коррозии бетона и металлических конструкций, что приводит к снижению прочности зданий, сооружений и коммуникаций, ухудшение самочувствия и состояния здоровья горожан и др. В этой связи представляется необходимой организация постоянного мониторинга микроклиматических особенностей крупных городов и проведение исследований, направленных на выявление последствий происходящих изменений в состоянии приземного слоя атмосферы.

Одной из наиболее острых экологических проблем в большинстве крупных городов страны, несмотря на ряд положительных тенденций наметившихся в последние десятилетия и связанных, в основном, с общим спадом промышленного производства, продолжает оставаться ухудшение качества атмосферного воздуха.

В 130 городах страны (64% городов, где проводятся наблюдения) степень загрязнения воздуха в настоящее время оценивается как очень высокая и высокая и лишь в 18% городов – как низкая. В 40 субъектах Российской Федерации из тех, где проводятся наблюдения, более 54% городского населения находится под воздействием высокого и очень высокого загрязнения воздуха. В 10 из этих 40 субъектов (Астраханская, Новосибирская, Омская, Оренбургская, Самарская области, Республика Хакасия, Хабаровский край, Чувашская Республика, города Москва и Санкт-Петербург) воздействию высокого и очень высокого загрязнения воздуха подвержены более 75% городского населения, в том числе в Москве и Санкт-Петербурге – 100% населения. В Иркутской, Оренбургской, Ростовской, Самарской областях, Красноярском крае и Республике Башкортостан имеются 5–7 городов с таким уровнем загрязнения, в Свердловской области и Ханты-Мансийском автономном округе – Югра – 4 города [11].

Основные источники загрязнения атмосферного воздуха в городах – промышленные предприятия, электроэнергетика и автомобильный транспорт. В течение последних десятилетий многие промышленные предприятия в городах снизили выбросы загрязняющих веществ, но связано это в основном с сокращением производства продукции, а не с внедрением экологически более приемлемых технологий. Анализ деятельности отдельных предприятий показывает, что многие из них стали уделять значительно меньше внимания экологическим вопросам. В большей мере это относится к предприятиям негосударственного управления. Появление отдельных негативных последствий связано также с высоким износом основных и вспомогательных средств производства и оборудования, нарушениями технологической дисциплины.

Важными факторами, определяющими высокий уровень загрязнения атмосферы в крупных городах являются значительное в течение последних двух десятилетий увеличение размеров автопарка, ухудшение состояния зеленых насаждений, расположенных вдоль дорог и сокращение их площади, неудовлетворительное состояние дорожного покрытия и др. Кроме того, проблема загрязнения атмосферного воздуха передвижными источниками в значительной степени связана с серьезными просчетами в градостроительстве – отсутствием экологически грамотного функционального зонирования, несбалансированностью основных функциональных зон города, повышении-



ем этажности и уплотнением застройки, сопровождающимся уменьшением проветриваемости автомагистралей, а также многочисленными недостатками в организации городской транспортной сети.

Загрязнение атмосферного воздуха вносит значительный вклад в экологически обусловленную заболеваемость городского населения [10, 11, 13]. Связано это с тем, что приземный слой атмосферы представляет собой один из немногих природных компонентов, который не может быть каким-либо образом ограничен в использовании или заменен «здоровым аналогом». Этим, главным образом, и определяется ведущее значение качества атмосферного воздуха в ряду природных факторов, с которыми традиционно связывают негативные тенденции в изменении медико-демографической ситуации в современных городах.

Среди многочисленных экологических последствий урбанизации одними из наиболее заметных являются изменения в гидрологическом и гидрохимическом режиме водных объектов. Рост и развитие городов приводит к заметным изменениям условий формирования стока. Происходит это в результате преобразования поверхности и зоны аэрации, создания дренажно-канализационных систем. Застройка территории, асфальтовое покрытие и уплотнение почвы существенно изменяют условия стока поверхностных и режим грунтовых вод. В зависимости от особенностей ландшафтного устройства территории нарушения естественных связей между поверхностными и подземными водами могут привести к различным негативным последствиям. Учитывать вероятность появления таких последствий необходимо, решая практически все вопросы градостроительства.

Важнейшая особенность гидрологии городов – организация поверхностного стока. Одно из основных направлений в организации стока поверхностных вод в городах – ускорение их сброса в водоприемник. Осуществляется это путём строительства ливневой канализации, устройства гидротехнических сооружений. Коэффициент стока с городских территорий в результате этого увеличивается в несколько раз, в некоторых случаях на порядок величин по сравнению с неурбанизированными ландшафтами [15].

Количественные и структурные изменения стока определяются в городе в результате его развития разнообразием антропогенных преобразований ландшафтов, особенностями эксплуатации водных ресурсов, состоянием систем водопотребления и водоотведения. Наиболее заметно зависит сток от плотности застройки, особенностей размещения зданий, зелёных насаждений, дорог и иных сооружений, от подходов к формированию регулирующей сток сети.

Заметными могут быть изменения в стоке водотоков города в случаях, когда во влагооборот вовлекаются подземные воды или воды, перебрасываемые из-за его пределов. На содержание влаги в зоне аэрации и режим грунтовых вод в урбанизированных ландшафтах влияет состояние систем водопровода и канализации. Потери воды из этих систем могут оказывать заметное влияние и на величину поверхностного стока, особенно в меженные периоды.

Рассмотрим на примере г. Смоленска отдельные особенности изменения стока с городских территорий, учитывая некоторые, хорошо просматриваемые в последние десятилетия тенденции в их развитии. Изменения в стоке с городской территории следует рассматривать, анализируя остальные основные составляющие водного баланса. Во многих работах отмечается, что в районах больших промышленных городов годовая сумма осадков на 5-10% выше, чем на окружающей местности. В период выпадения ливневых дождей превышения могут достигать 30% и более [16]. При этом зона повышенного выпадения осадков находится в подветренной стороне города.

Однако, согласно результатам проведенных нами исследований [13] утверждать это для г. Смоленска оснований нет. При относительно небольших размерах города не представляло большого труда выявить, что в разных его частях заметных различий в выпадении осадков нет. К тому же в течение всего года, и особенно в холодный период, в городе преобладают обложные осадки практически с одинаковой интенсивностью и продолжительностью выпадения на значительной территории. Не отмечено на

территории города и заметных различий в интенсивности и продолжительности выпадения ливневых дождей.

Суммарное испарение с городской территории зависит от притока солнечной радиации и состояния поверхности. В городе по сравнению с окружающей его территорией из-за повышенной запылённости (особенно в ясную погоду тёплого периода года) ниже величина суммарной солнечной радиации, но на свободных от зелёных насаждений участках меньше альбедо. В связи с этим различия в радиационном балансе города в целом и пригорода не могут быть значительными. В большей степени испарение влаги в городе будет зависеть от состояния поверхности. Для оценки испарения это состояние можно определять соотношением площадей водонепроницаемых покрытий и зелёных насаждений. В Смоленске, как во многих других городах, в последние десятилетия заметно проявляется тенденция изменения этого соотношения: сокращаются площади под зелёными насаждениями и увеличиваются под твёрдым покрытием [13]. В основном это связано с уплотнительной застройкой, наиболее заметно проявившейся в центральной части города. Увеличение площади под зданиями и участками с твёрдым покрытием, несомненно, сказывается на уменьшении испарения. Снижается в связи с этим и поступление влаги в зону аэрации. Но существенного сокращения запасов подземных вод в верхней толще четвертичных отложений на территории города не отмечается, что подтверждается сохранением здесь многих источников подземных вод и незначительным изменением их дебита. Обеспечивается пополнение запасов подземных вод наличием на плакорах в основном небольших по площади участков питания подземных вод, но имеющих в ряде случаев значительные площади водосбора.

Велики потери воды в системах водоснабжения. Ухудшение состояния этих систем приводит к увеличению потерь воды. По данным опроса жителей города, проживающих в многоэтажных домах застройки 1960-70-х годов, потери воды из находящихся в подвалах систем коммуникации явление обычное. Количество дней с неисправностью этих систем, в которые наблюдается течь воды, нередко превышает треть от общего количества дней в году [13].

Из изложенного выше следует, что годовой сток с городской территории больше, чем в естественных условиях. Происходит это за счёт повышения доли поверхностного стока. В городе создаются к тому же благоприятные условия для ускорения сброса поверхностных вод и концентрации их в определённых местах. Наиболее неблагоприятные последствия этого – активизация эрозионных процессов и увеличение загрязнения водных объектов. Развитию этих процессов способствуют, прежде всего, уплотнительная застройка, сокращение площади под зелёными насаждениями, неправильное их размещение, отсутствие научно-обоснованного подхода к использованию отдельных природных комплексов.

Тенденция активизации этих процессов хорошо прослеживается на территории г. Смоленска, и особенно в его левобережной части. Интенсивное развитие эрозии во многих местах этой части города отмечали в результате уплотнительной застройки, непоследовательного решения вопросов организации стока и неправильного использования балок, долин малых рек [13]. Особенно активно развитие эрозии проходило на склонах и по дну многих балок.

Заметно увеличивалось загрязнение воды взвешенными веществами. По данным проведенных нами исследований, содержание их в водах многих временных водотоков достигало в периоды выпадения ливневых дождей нескольких грамм на один литр, в десятки и сотни раз выше ПДК периодически отмечали в стоках ливневых вод содержание нефтепродуктов, тяжёлых металлов, биогенных компонентов. Проблема загрязнения Днепра ливневыми и талыми снеговыми водами, поступающими с территории города, обостряется и в связи с ее растущим загрязнением твёрдыми отходами, увеличением количества автотранспорта, ухудшением состояния отдельных сооружений городской водосточной сети [13].

Проведенные исследования свидетельствуют о необходимости решения вопросов организации поверхностного стока в городе с обязательным учётом особенностей ландшафтного устройства его территории. Наличие множества эрозионных форм



рельефа и широкое распространение склонов, в том числе значительной длины и крутизны, определяют необходимость отведения под зелёные насаждения больше земель по сравнению с городами, расположенными на территориях со слабо пересечённым рельефом. Зелёные насаждения должны преобладать в долинах малых рек, балках, на коренных склонах долины Днепра. Размещать и формировать их необходимо таким образом, чтобы они предотвращали развитие эрозии, способствовали очистке вод поверхностного стока, выполняли эстетические, рекреационные и иные функции.

Балки и овраги в городе должны быть превращены в своеобразные буферные зоны, обеспечивающие регулирование поверхностного стока и уменьшение содержания в ливневых и талых снеговых водах загрязняющих веществ. Для этого необходимо не только правильное проведение их озеленения, но и устройство прудов-отстойников, биологических прудов и плато. В комплекс мероприятий по регулированию поверхностного стока необходимо включать строительство водосбросных гидротехнических сооружений. Таких сооружений в городе явно недостаточно. Многие из имеющихся сооружений примитивны, неправильно спланированы, построены без учёта объёма стока необходимой обеспеченности, с отклонениями от принятых проектных решений. Развитие эрозионных процессов на территории города продолжается в связи с этим на протяжении многих лет.

Широкое распространение крупных эрозионных форм рельефа обеспечивает на большей части города хорошие условия для сброса как поверхностных, так и подземных вод. Но на отдельных выровненных участках местных водоразделов при их застройке в результате недостаточного учёта гидрогеологических условий периодически отмечается подъём уровня грунтовых вод. Подпор грунтовых вод создаётся в основном дорогами и фундаментами зданий значительной протяжённости. Подъём уровня грунтовых вод, и насыщение влагой верхней толщи пород приводит нередко к пучению грунта в результате его промерзания и оттаивания. С этим процессом связано разрушение твёрдого покрытия дорог на многих участках территории города.

В результате подъёма грунтовых вод и насыщения влагой верхнего слоя пород, особенно насыпного грунта, возникают оползни, при значительном периодическом изменении уровня – просадки. Эти процессы в городе становятся всё более заметными и связаны с неправильным подходом к использованию ряда природных комплексов, строительству многих зданий. Способствует этому и уплотнительная застройка. Повышение уровня грунтовых вод приводит нередко к повышению влажности в подвалах зданий, в результате чего создаются благоприятные условия для размножения комаров.

Весьма значительное антропогенное воздействие испытывает в городах почвенный покров [16–21]. Инженерно-строительное освоение городской территории сопровождается значительной трансформацией почвенного покрова, что выражается в изменении водного и теплового режима почв, химического состава и структуры почвенных горизонтов, существенным нарушением многих функций почв. В городах формируется особый искусственный тип почв – урбанозем, поверхностный слой которого (более 40 см) создан человеком и характеризуется наличием различного рода антропогенных включений – строительного и бытового мусора, частей дорожного покрытия и т.д. Для городских почв характерны повышенная плотность, увеличение объёмной массы, изменение структуры почвенных горизонтов в сторону слоеватости и формирование крупнопластинчатых отдельностей, высокая концентрация тяжелых металлов, обогащённость комплексом N:P:K и сдвиг pH в щелочную сторону [4, 13, 22, 23].

В городских условиях происходит трансформация особенностей процессов почвообразования [4, 13]. Выражается это в том, что вследствие резкого перегрева верхних слоев почвы и преобладания непромывного (испарительного) водного режима некоторые почвообразовательные процессы приближаются к «пустынному» типу, что подтверждается фактами прямого накопления в поверхностных почвенных горизонтах различных солей. Кроме того, формирование конденсационных водных масс под



фундаментами зданий и сооружений, стимулирует развитие процесса оглеения в закрытых почвах.

Почва в черте города выступает в качестве универсального биологического адсорбента, аккумулируя различные загрязнители: пыль, атмосферные ядовитые газы, растворенные в дождевой воде и инфильтрационных водах, которые насыщают ее целым рядом загрязняющих веществ до нижних горизонтов почвенного профиля. Содержание многих загрязняющих веществ, в том числе и тяжелых металлов в городских почвах нередко в несколько раз превышает ПДК, что ведет к формированию в разной степени выраженных геохимических аномалий. Техногенные геохимические аномалии почвенного покрова особенно значительны в крупных городах, где наибольших значений достигает интенсивность транспортной нагрузки, велико число промышленных предприятий и несанкционированных свалок. Контрастность и пространственное положение этих аномалий зависит от функциональной структуры города, уровня техногенного воздействия и особенностей природных условий. Наиболее значительные геохимические аномалии формируются, как правило, вдоль городских автомагистралей, где концентрации в почвах свинца, цинка, меди, кадмия могут возрасти по сравнению с природным фоном в 100–1000 раз [18, 23].

Почвы городов Смоленской области отличаются значительным разнообразием, что является результатом сложного взаимодействия естественных факторов в различных геолого-геоморфологических условиях, многообразного антропогенного воздействия, изменявшегося на разных этапах их развития.

На территории городов области можно встретить уникальные почвы, отличающиеся весьма благоприятными водно-физическими свойствами, водным режимом и в связи с этим высоким плодородием. Формирование таких почв при правильном их использовании проходило сотни лет. Сохранились они в основном на отдельных участках индивидуальной застройки. Содержание гумуса в них достигает нередко 6 и даже 8%, плотность сложения колеблется чаще в пределах 1.1–1.3 г/см<sup>3</sup>, реакция почвенной среды нейтральная, питательных веществ содержится в оптимальном для растений количестве. Такие почвы можно считать эталоном окультуренных почв, их следует выявлять и обозначать на почвенных картах городов, а отдельные, наиболее плодородные эталонные участки необходимо охранять наравне с археологическими и историческими памятниками.

В городах и пригородах встречаются почвы, формирование которых проходило путём длительного или относительно быстрого наращивания плодородного гумусового слоя. Такие почвы, в отличие от рассмотренных выше, формировались не за счёт постепенного окультуривания и грамотного использования, а создавались искусственно за счёт внесения плодородной массы гумусового слоя и внесения большого количества органики. Гумусовый слой таких почв мощный и достигает в отдельных местах 60–80 см и даже более. Эти почвы отличаются также высоким плодородием, хорошими водно-физическими свойствами, имеют благоприятный водно-тепловой режим. Встречаются они не только в местах старой городской застройки, но и на недавно освоенных территориях. Их также необходимо выявлять и по возможности сохранять. При строительстве многоэтажных зданий, дорог и иных сооружений гумусовый слой таких почв должен быть использован для рекультивации деградированных земель.

Площади, занятые хорошо окультуренными почвами, за последние десятилетия в городах постепенно сокращались, что связано с расширением городских территорий и застройки их многоэтажными зданиями. В районах сплошной многоэтажной застройки они не сохранились, что было обусловлено не только строительством зданий, но и прокладкой дорог, коммуникаций. Сохранили отдельные признаки естественного состояния в таких местах лишь почвы в парках и отдельных скверах. По своим свойствам они заметно различаются. Обычно эти почвы заметно деградируют из-за значительного уплотнения, ежегодного изъятия опада, отсутствия должного ухода (рыхления, внесения органики и др.).

В местах многоэтажной застройки почвы отличаются обычно очень плохим состоянием. Почвенный покров в таких местах чаще нарушен, почвенные горизонты нередко невозможно выделить. В верхнем слое почвы, а иногда и по всему её профилю



встречается строительный мусор. Обычно почва сильно уплотнена. Плотность сложения её часто превышает  $2 \text{ г/см}^3$ . Нередко почвы таких участков не имеют гумусового горизонта, или он слабо выражен.

В пределах городов области во многих местах почва уничтожена полностью и заменена твёрдым покрытием. Площадь таких участков увеличивается в результате уплотнительной застройки, что особенно заметно проявляется в областном центре в районах старой застройки.

Развитие современных городов сопровождается сокращением площадей под зелеными насаждениями и ухудшением их состояния – нарушением продукционного процесса, уменьшением продуктивности, деформациями и изреживанием кроны, развитием суховершинности, а также некрозов и хлорозов листьев и хвои [4, 24]. Причина этого не только в значительном загрязнении городской атмосферы, но и в снижении плодородия почв городов, потери ими структуры в результате уплотнения и загрязнения строительным мусором, что особенно заметно выражено в районах многоэтажной застройки.

Заметную деградацию испытывают, особенно в последние годы, «легкие городов» – пригородные зоны. Дачный «бум» привел к уничтожению вокруг городов деревьев и кустарников на значительных площадях. Многие города из-за почти сплошного окружения их дачными участками фактически не имеют перспектив создания эффективно действующих пригородных зеленых зон, заметно влияющих на состояние атмосферы города и способных принимать для кратковременного отдыха значительное количество жителей.

Многие рассмотренные выше негативные экологические последствия урбанизации становятся в последние десятилетия все более заметными и в разной мере сказываются на изменении социальной обстановки в городах, отражаясь на условиях жизни большей части горожан [25, 26]. Однако обычно, определяя перспективы развития города, социальные последствия экологических проблем анализируют либо не достаточно глубоко, либо вообще не принимают во внимание. В бюджете государства, регионов, городов имеются статьи расходов, предусматривающие оказание необходимой помощи пострадавшим от стихийных бедствий, в том числе и изменений в природной среде, вызванных непредвиденными последствиями урбанизации. Однако неблагоприятным изменениям в условиях жизни населения, которые связаны с незначительным на первый взгляд локальным снижением здоровья, экологической комфортности уделяется недостаточно внимания. Факты же таких незначительных локальных изменений экологического состояния в городах многочисленны и имеют как временный, так и постоянный характер. Они обычны, например, при уплотнении застройки, строительстве дорог или иных сооружений в жилой зоне или возле нее, прокладке коммуникаций, строительстве гаражей и др.

Следует отметить, что ухудшение социально-экологической ситуации в крупных городах часто усугубляется отсутствием средств на решение природоохранных вопросов. В этих условиях, прежде всего, важно определить такие направления работ, осуществление которых не требует значительных затрат, но будет способствовать улучшению качества городской среды. В качестве примера нами рассмотрены наиболее приемлемые варианты оптимизации состояния отдельных природно-антропогенных комплексов г. Смоленска, где наиболее отчетливо выражены практически все характерные для крупных городов проблемы деградации природных компонентов и ухудшения социально-экологической ситуации.

В качестве основного принципа оптимизации использовался принцип сотворчества человека и природы [27], который предполагает использование потенциальных возможностей и тенденций, заложенных в самой природе, осуществление мероприятий, направленных на развитие потенциальных сил природы, активизацию природных процессов и увеличение продуктивности геосистем. В схемах рациональной организации отдельных ПТК приоритетное внимание должно быть уделено увеличению потенциальных возможностей городских геосистем к воспроизводству жизненно важных для человека условий природной среды и нейтрализации техногенного загрязнения. Так, в разработанной нами схеме

обустройства балки предусмотрено строительство биологических прудов и формирование зон зеленых насаждений рекреационного назначения, в проекте реконструкции парка намечено изменение границы, зонирование, а также решение некоторых других вопросов, касающихся его обустройства, предложены основные пути улучшения состояния водоема, используемого в рекреационных целях и обустройства прилегающей к нему территории.

### Заключение

Проведенный анализ позволил выявить основные тенденции негативных изменений в состоянии природно-антропогенных комплексов городских территорий.

Отсутствие экологических приоритетов в определении стратегии развития многих городов, нерациональный подход к использованию отдельных геосистем и компонентов природной среды приводят к появлению целого ряда сложных, трудноразрешимых, а иногда и тупиковых экологических проблем. К их числу следует отнести проблемы связанные с загрязнением атмосферного воздуха, почв, трансформация гидрологического и гидрохимического режима водных объектов, наблюдающееся во многих городах уменьшение площади зеленых насаждений и ухудшение их состояния и др.

Заметно активизировавшаяся в последние десятилетия деградация природно-антропогенных комплексов городов сопровождается ухудшением качества городской среды и, как следствие, значительным снижением уровня комфортности проживания городского населения.

Крайне необходимым, в связи с этим, представляется разработка комплекса мер, направленных на оптимизацию городских геосистем, решение прогрессирующих проблем ухудшения их состояния и создание условий, которые позволили бы не допускать их появления впредь.

### Список литературы

1. Анохин А.А. Урбанизация как фактор состояния окружающей среды // География и окружающая среда. Отв. ред. В.В. Дмитриев, Н.С. Касимов, С.М. Малхазова. – СПб: Наука, 2003. – С. 417–426.
2. Колбовский Е.Ю., Морозова В.В. Ландшафтное планирование и формирование сетей охраняемых природных территорий. – Москва-Ярославль: Институт географии РАН, Изд-во ЯГПУ, 2001. – 152 с.
3. Макаров В.З. Теория и практика ландшафтно-экологических исследований крупных городов с применением ГИС-технологий. Автореферат дисс. ... доктора географ. наук. – СПб, 2001. – 44 с.
4. Природный комплекс большого города: Ландшафтно-экологический анализ / Э.Г. Коломыц, Г.С. Розенберг, О.В. Глебова и др. – М.: Наука. МАИК «Наука / Интерпериодика», 2000. – 286 с.
5. Розенберг Г.С., Краснощеков Г.П., Попченко В.И. Комплексный анализ урбоэкологических систем: Методическое пособие. – Тольятти, 1994. – 30 с.
6. Угарова Н.А. Эколого-экономическая оптимизация территориально-планировочной структуры крупных городов. Автореф. дисс. на соиск. уч. степ. канд. геогр. наук. – Москва, 2011. – 26 с.
7. Авцын А.П. Введение в географическую патологию. – М.: Медицина, 1972. – 328 с.
8. Бешинский В.А. Комплексная геоэкологическая характеристика крупного промышленного центра за последнее десятилетие (на примере г. Воронежа). Автореф. дисс. ... канд. геогр. наук. – Воронеж, 2003. – 24 с.
9. Битюкова В.Р. Принципы и методы комплексной оценки экологического состояния городской среды (на примере г. Москвы) // Проблемы урбанизации на рубеже веков / Отв. ред. А.Г. Махрова. – Смоленск: Ойкумена, 2002. – С. 189–197.
10. Битюкова В.Р. Социально-экологические проблемы развития городов России. – М.: Едиториал УРСС, 2004. – 448 с.
11. Государственный доклад о состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2009 году. – М., 2010.



12. Максимова Л.В. Становление и развитие географических аспектов экологии человека в России // Изв. АН. Сер. геогр. – 2003. – № 6. – С. 92–100.
13. Шкалик В.А., Бобров Е.А. Социально-экологические проблемы города (на примере Смоленска и других городов Смоленской области). – Смоленск: Универсум, 2009. – 212 с.
14. Горшков С.П. Концептуальные основы геоэкологии: Учебное пособие. – Смоленск: Изд-во СГУ, 1998. – 448 с.
15. Куприянов В.В. Основы гидрологии городов // Географо-гидрологический метод исследования вод суши. – М.: Изд-во ГО СССР, 1984. – С. 28–32.
16. Экология большого города. Альманах / Под ред. Е.И. Пупырева. – М.: ПРИМА-ПРЕСС, 1996. – 96 с.
17. Артемова С.Н. Оценка использования и экологического состояния городских ландшафтов (на примере города Пенза). Автореф. дисс. ... канд. геогр. наук. – М, 1997. – 26 с.
18. Бочкарева Т.В., Савченко А.Б. Теоретические подходы к пониманию и оценке состояния городской среды // Итоги науки и техники. Сер. «Охрана природы и воспроизводство природных ресурсов». Т. 22. Охрана и улучшение городской среды. – М., 1988. – С. 23–42.
19. Колупаев Б.И., Котов Ю.С., Мурзов С.А., Александров А.В., Морозова Л.Я., Белова Н.Г., Степанова С.Н., Синицина Л.А. Комплексная оценка загрязнения почв и снежного покрова г. Казани и сопредельных территорий // Эколого-токсикологическая оценка урбанизированных и сопредельных территорий. – Казань: Изд-во Казанского ун-та, 1990. – С. 4–10.
20. Ненарокова К.Н., Доброхотова С.Н., Ильинский С.В. Эколого-градостроительная концепция развития Москвы // Экология и охрана природы Москвы и Московского региона. Под ред. В.А. Садовниченко, С.А. Ушакова. – М.: Изд-во МГУ, 1990. – С. 9–25.
21. Стурман В.И., Бушкова Ю.С., Габдуллин В.М. Аэрогенное и вейстогенное загрязнение почв крупного промышленного города // Проблемы региональной экологии. – 2000. – № 2. – С. 39–44.
22. Культурный ландшафт города Саранска (геоэкологические проблемы и ландшафтное планирование) / Науч. ред. и сост. А.А. Ямашкин. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2002. – 160 с.
23. Лепнева О.М., Обухов А.И. Экологические последствия влияния урбанизации на состояние почв Москвы // Эколого-токсикологическая оценка урбанизированных и сопредельных территорий. – Казань: Изд-во Казанского ун-та, 1990. – С. 63–69.
24. Шкалик В.А., Бобров Е.А. Изменения в состоянии зеленых насаждений и зон отдыха в городах Смоленской области // Города в условиях трансформации социально-экономической структуры общества. – Смоленск: Универсум, 2003. – С. 211–225.
25. Козловская Л.В. Природоохранная деятельность как средство решения социальных задач // Экологические аспекты городских систем. – Минск: Наука и техника, 1984. – с.218–221.
26. Реймерс Н.Ф. Охрана природы и окружающей человека среды: Словарь-справочник. – М.: Просвещение, 1992.
27. Сочава В.Б. География и экология. – Л., 1970.

## SOCIAL-ECOLOGICAL PROBLEMS OF LARGE CITIES AND WAY OF THEIR SOLUTION

### E.A. Bobrov

*Smolensk University of Humanities  
Gertsen St., 2, Smolensk, 214014,  
Russia*

*E-mail: bobrov\_ea@shu.ru*

The analysis of modern tendencies in the development of the social-ecological situation in large cities has been carried out. The main trends and scope of anthropogenic transformation of certain natural constituents of city ecosystems as well as social-ecological consequences of the development of city territories are revealed. The possible ways of optimization of the social-ecological situation within natural-anthropogenic zones of city areas are defined.

Key words: urbanization, city, city ecosystem, anthropogenic transformation, social-ecological problems, optimization.

## СОВРЕМЕННЫЕ ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ И ИХ АНТРОПОГЕННАЯ АКТИВИЗАЦИЯ

**В.А. Хрисанов<sup>1</sup>**  
**Е.А. Бахаева<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Белгородский государственный  
национальный исследовательский  
университет, Россия, 308015,  
г. Белгород, ул. Победы, 85

<sup>2</sup> СОШ № 41 г. Белгорода  
Россия, г. Белгород, 308036,  
Бульвар Юности, 4

На территории Белгородской области проявляются весьма разнообразные комплексные современные геоморфологические процессы: выветривания, гравитационные, эрозионные, карстовые, суффозионные, эоловые и абразионные, которые обладают определенной степенью динамичности и разрушительной способностью. Они зачастую наносят определенный ущерб народному хозяйству области. Нередки случаи и антропогенной активизации экзогенных процессов, особенно в окрестностях урбанизированных территорий. Современные тектонические движения, а также изменения климата способствуют активизации природных процессов. В связи с этим необходимы стационарные полевые исследования и разработка комплексных мер борьбы с разрушительными экзогенными процессами Белгородской области.

Ключевые слова: эколого-геоморфологические процессы, районирование современных экзогенных процессов.

Территория Белгородской области отличается разнообразием природно-климатических факторов и геолого-геоморфологических условий. Это способствует образованию и развитию широкого разнообразия экзогенных процессов выветривания: гравитационных, эрозионных, карстовых, суффозионных, эоловых процессов, процессов заболачивания и абразии берегов водохранилищ. Некоторые из них обладают высокой степенью динамичности и разрушительной способностью, особенно эрозионные и гравитационные. В результате хозяйственной деятельности человека наблюдается активизация экзогенных процессов.

**Процессы выветривания** проявляются практически повсеместно. Большое влияние на характер их проявления оказывают структурно литологический и климатический факторы. Физико-химическое разрушение обнаженных пород происходит под действием воды, колебаний температуры, биохимического действия микроорганизмов, разрушающего действия корневой системы и кристаллизации водных растворов солей.

На территории Белгородской области в результате климатических и литологических условий в западной части более интенсивно проявляется биохимическое выветривание, в центральной – физическое и химическое, особенно в районах выходов меловых отложений, где происходит интенсивное растворение карбонатных пород.

**Гравитационные процессы.** На территории Белгородской области из гравитационных процессов проявляются оползни, обвалы и сползание почвенно-растительного покрова. Наиболее интенсивно оползни проявляются в центральной и восточной части области, особенно по склонам оврагов и балок, меньше по долинам рек. Размеры оползней различны от 1 м в ширину до 150 м и более. Они отличаются большим разнообразием по возрасту и глубине захвата пород. Активизация оползней наблюдается в период выпадения длительных дождей и в результате хозяйственной деятельности человека. Классические примеры оползней наблюдаются в районе с. Дубовое, с. Щербаково – Алексеевского района, с. Почаево, на склонах «Долгой горы» – Грайворонского района, с. Становое и Новоалександровка Борисовского района и др. Здесь оползни достигают в размерах от 3 м<sup>2</sup> до 250 м<sup>2</sup>.

Сползание почвенно-растительного покрова наблюдается в районах интенсивного выпаса скота и крутых склонов балок в окрестностях с. Замостья, Касилово, Дорогощ, на склонах автодорог в окрестностях г. Короча. Обвалы пород наблюдаются по



бортам оврагов, карьеров, берегам рек, особенно в Старооскольском и Губкинском районах, где часто в карьерах производят взрывы.

**Эрозионные процессы.** Общая расчлененность территории области эрозионными формами колеблется от 0.2 до 1.9–2.0 км/км<sup>2</sup>. Общая протяженность овражно-балочной сети составляет около 50 тыс. км [1].

Густота эрозионной сети неравномерна, наибольшая величина показателя (1.6–1.8) характерна для левобережья Северского Донца, средней части бассейна Оскола, а также для северо-восточной части области. Средняя густота (0.5–0.9 км/км<sup>2</sup>) наблюдается в северной части области и в южной части рек Оскол и Северский Донец. Слабое расчленение (0.3–0.5 км/км<sup>2</sup>) приурочено в основном к водоразделам. Наиболее активные эрозионные процессы проявляются в верховьях рек, где коэффициент расчленения колеблется от 1.5 км/км<sup>2</sup> и выше.

Склоновые типы местности, сравнительно слабая облесённость, достаточное количество осадков зачастую ливневых, высокая степень распаханности способствует интенсивному проявлению не только линейной эрозии, но и плоскостному смыву почв.

Эродированные почвы составляют до 60% всей площади области. Наиболее эродированы почвы в восточных и юго-восточных районах, в которых смытые почвы занимают свыше 60%, а в западных районах гораздо меньше 30–40%.

В период длительных дождей активизируется не только плоскостной смыв, но и овражная деятельность. Конусы выносов оврагов составляют от 100 до 300 м<sup>3</sup> рыхлых отложений, в том числе и чернозема. Изрезанность оврагами и балками и руслами рек колеблется от 0.9 до 2.5 км/км<sup>2</sup>, увеличиваясь с северо-запада на юго-восток.

Интенсивное оврагообразование наблюдается в Алексеевском, Красногвардейском и Чернянском районах.

Так наши наблюдения в Борисовском районе показывают, что овраги растут со скоростью 0.3–1 м/год. Рост оврагов в песчаных породах в 2–3 раза быстрее, чем в тяжелых суглинках, овраги на лесных склонах по скорости роста занимают промежуточное положение. Овраги значительных размеров наблюдаются на склонах крупных речных долин Ворсклы, Оскола, Северского Донца.

**Карстовые процессы.** Наиболее интенсивно карстовые процессы развиваются на участках, где трещиноватые мело-мергелевые породы выходят на поверхность или близко располагаются к поверхности. Их активизация наблюдается в период длительных дождей. В результате образуются разнообразные формы рельефа – провальные воронки, ниши, ячейки, пещеры. Провальные воронки диаметром от нескольких метров до 20–30 м, отдельные – до 50 м и более. Наиболее активно карстовые процессы проявляются в зонах повышенной трещиноватости мергельно-меловой толщи. Это окрестности г. Алексеевка, склонов рек Нежеголь, Айдар, Валуй. По характеру залегания карстующих пород для территории Белгородской области характерен смешанный тип карста, т.е. поверхностный и глубинный в зависимости от мощности перекрывающих пород. Особенно сильно закарстованы участки междуречных пространств верховья рек Короча, Калитва, Айдар, Котел, Тихая Сосна и др. Здесь плотность карстовых форм рельефа достигает от 30 до 80 штук/км<sup>2</sup>.

**Суффозионные процессы.** На территории области суффозионные процессы в виде округлых понижений, западин диаметром от 1.5 до 20 м и более, при глубине 0.5–2.5 м с плоскими склонами, слабо вогнутыми днищами приурочены в основном к поймам и надпойменным террасам бассейнов малых рек, а также Северского Донца, Ворсклы, Оскола и Сейма. Особенно интенсивно они проявляются на участках, сложенных лёссовидными суглинками, которые имеют высокую пористость и характеризуются множеством вертикальных капиллярных пор, что способствует интенсивному вымыванию наиболее мелких фракций в низлежащие горизонты. В области наблюдаются случаи и смешанного проявления карстово-суффозионных процессов, особенно в районах, где меловые породы находятся довольно близко к поверхности – это Чернянский и Старооскольский районы.

**Абразионные процессы.** Наиболее заметны эти процессы происходят на искусственно созданных крупных водохранилищах – Белгородском, Старооскольском,

Корочанском, Солдатском и др. Здесь активно происходят размывы их берегов течениями и волнениями. В результате образуются абразионные уступы высотой 1-20 м, небольшие береговые ниши, ячейки, песчаные гряды и откосы. Местами наблюдается обрушения берегов водохранилищ в виде обвалов, особенно на правом берегу Белгородского водохранилища.

**Золовые процессы** (дефляция) наблюдаются в период засушливой погоды с сильными ветрами. Соответствующие проявления в виде песчаных гряд, бугров встречаются в долинах крупных рек Ворскла, Тихая Сосна, Северский Донец, Оскол. Местами встречаются пылевые бугры вдоль лесополос и железнодорожных полотен.

Интенсивная почвенная дефляция происходит в период атмосферной засухи и суховеев на больших открытых пространствах. И она резко сокращается в условиях сомкнутого растительного покрова и усиливается при нарушении плотности субстрата путём распашки, а также при вырубке леса. Выдувание почв наиболее интенсивно протекает в восточной части области, где периодически происходит перенос большого количество пыльных частиц.

#### **Антропогенные процессы.**

В связи с хозяйственным освоением территории большое значение в изменении рельефа приобретают антропогенные процессы. Эти процессы оказывают прямое или косвенное влияние на рельеф, приводя при этом к понижению или повышению отметок поверхности. Понижение отметок происходит путём срезок, террасирования склонов, устройства долговременных выемок. Повышение – путем различного рода складирования вскрышных пород, а также строительных работ на территории населенных пунктов, особенно городов. Величина искусственного повышения поверхности в области колеблется от 0.5 до 100 м. Наиболее значительные понижения (карьеры) глубиной до 300 м и более образовались при добыче полезных ископаемых открытым способом это карьеры г. Губкина, Старого Оскола. Косвенные антропогенные воздействия проявляют через активизацию экзогенных процессов – эрозионных, гравитационных, карстовых, суффозионных и золовых и др. (рис. 1.). Так, при подрезе склонов, особенно при строительстве автодорог, наблюдается активизация гравитационных процессов, например, в Белгородском, Корочанском, Алексеевском районах. Интенсивная вспашка земель приводит к активизации эрозионных процессов, в результате происходит сокращение гумусового горизонта, ежегодно смывается с одного га до 400 кг гумуса, 200 кг кальция и большое количество других элементов питания растений.

Таким образом, исследования показывают, что хозяйственная деятельность человека вносит существенные изменения в эколого-геоморфологическую обстановку. Урбанизация территорий, горнопромышленное производство, сельскохозяйственная деятельность, добыча и переработка полезных ископаемых приводит к активизации проявления разрушительных природных процессов и ухудшают экологическую обстановку в регионе. В конечном итоге в местах интенсивного хозяйственного освоения природной среды загрязнения атмосферного воздуха, вод, почв, растительности, сельхозпродукции приводят к снижению качества среды обитания человека, к серьёзным неблагоприятным медико-биологическим последствиям.

**Активизация современных экзогенных процессов в результате современных вертикальных тектонических движений.** По данным повторного нивелирования Белгородская область в целом находится в зоне общего тектонического поднятия. Однако не на всей территории скорости поднятия одинаковы. Наиболее интенсивно поднятие от 4 до 6 мм в год происходит в центральной и восточной частях области. На отдельных овально-кольцевых морфоструктурах (Новооскольское, Волотовское, Иловское, Вязовское) поднятия достигают до 8 мм/год [2]. В этих районах наблюдается заметная активизация эрозионных, гравитационных и карстовых процессов. Они как бы являются индикаторами вертикальных поднятий. Здесь наблюдаются свежие эрозионные врезы в днища балок, современные оползневые и обвальные процессы, повышенная трещиноватость меловых толщ, способствующая активизации карстовых процессов (см. рис. 1).

Если проследить неотектонические движения, т.е. время от плиоцена, эпохи позднего неогена, начавшейся 12 млн. лет назад, до четвертичного и современного состояния, то они, несомненно, проявились в современном облике рельефа области именно по степени его расчленения. В этом отношении наиболее расчленённый рельеф в центральной и, особенно в восточной части области, где 75 % территории имеют величину расчленения 75–100 м. Это подтверждает тот факт, что тектонические движения на протяжении всего неотектонического этапа на территории нашей области имели одну унаследованную направленность – поднятия, которое и способствовало созданию существующего облика рельефа на территории области.

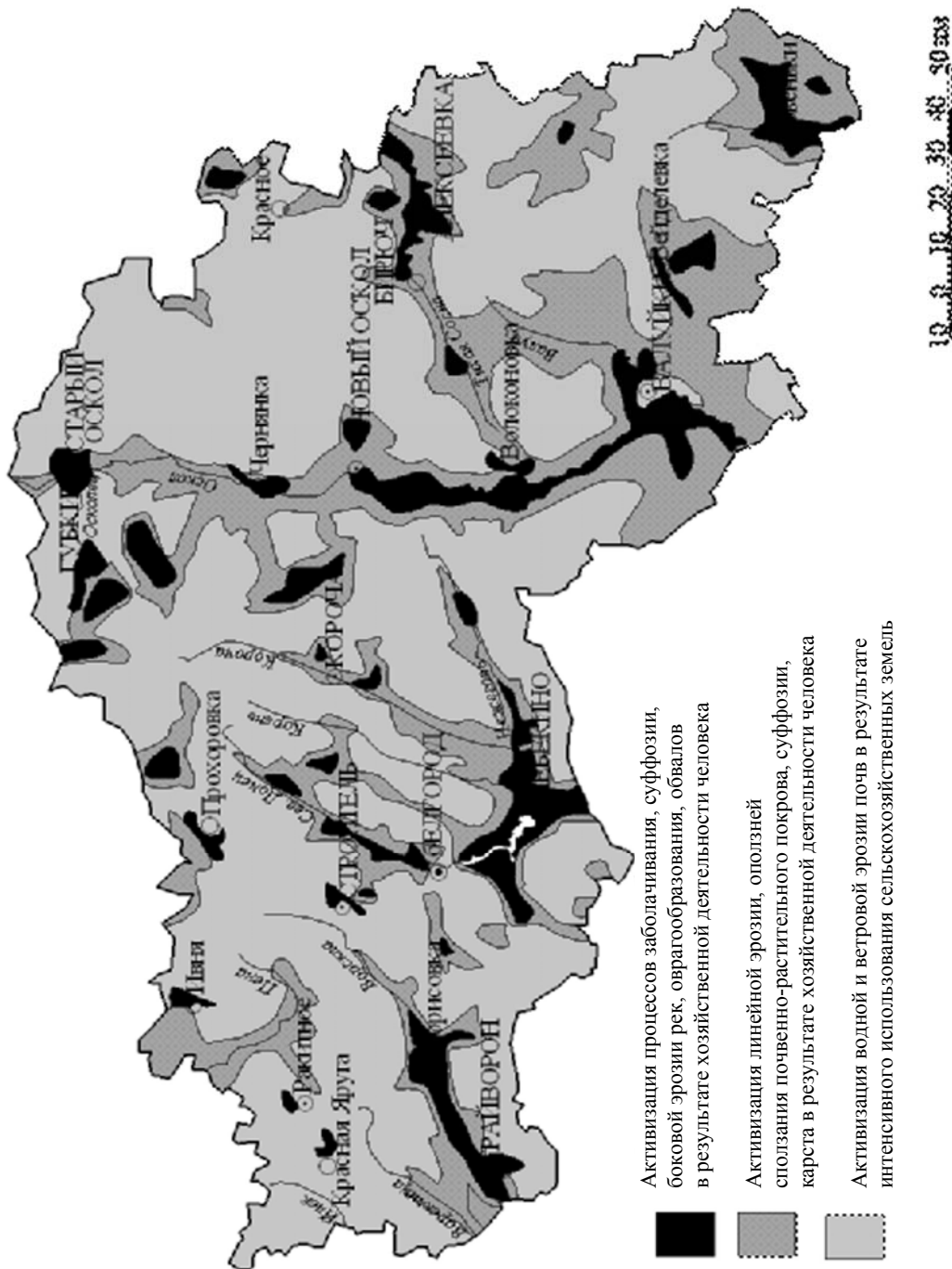


Рис. 1. Антропогенная активизация экзогенных процессов Белгородской области



### **Прогнозирование дальнейшего проявления экзогенных процессов.**

Современные экзогенные процессы в области развиваются в тесной зависимости от характера тектонических движений, структурно-литологических условий, рельефа, изменения климата и хозяйственной деятельности человека.

Структурно литологические условия по отношению к современным экзогенным процессам являются наиболее статистическими факторами, а тектонические – динамическими факторами. Поэтому главное значение для прогноза развития экзогенных процессов имеет анализ режима динамических факторов.

Наряду с этим значительную роль для прогноза стал играть антропогенный фактор, который в ряде случаев усиливает и порождает новые природные процессы [3]. Так продолжающиеся унаследованные современные тектонические движения в области будут и в дальнейшем активизировать проявления эрозионных, гравитационных процессов.

Беря во внимание статистический фактор – структурно-литологические условия, можно предположить, что в местах распространения меловых отложений будут продолжаться развиваться карстовые процессы, могут периодически усиливаться в зависимости от колебания климата и активизации хозяйственной деятельности человека.

В связи с глобальными изменениями климата возможно усиление в дальнейшем ветровой эрозии почв, перевевание пойменных песков, образование пыльных бурь и уменьшение процессов заболачивания.

Анализ сезонной ритмики увлажнения на территории области позволяет сделать прогноз на периодическую активизацию экзогенных процессов. Как правило, максимум осадков наблюдается весной и осенью в это время происходит усиление плоскостного смыва, оврагообразования, подмыва берегов, заболачивания, а также активизируются обвально-оползневые процессы.

Что касается активизации экзогенных процессов в зависимости от антропогенных факторов, то в перспективе накопление рыхлых отложений в районах разработок железной руды будет приводить к активизации дефляции, эрозионных процессов, загрязнению водоемов и атмосферы. Предполагаемое развитие системы орошения лугов, полей может привести к активизации процессов суффозии и эрозии.

Продолжение затопления искусственными водоемами (в районах с повышенной трещиноватостью и рыхлостью пород) может вызвать опреснение минеральных вод.

Вырубка леса на склонах может вызвать активизацию эрозионных процессов и появлению новых очагов оползней.

Таким образом, общий ход развития современных экзогенных процессов Белгородской области связанный или стимулируемый современными вертикальными движениями земной коры может в дальнейшем испытывать колебания в сторону его ослабления или усиления в зависимости от колебания климата и хозяйственной деятельности человека.

### **Районирование современных экзогенных процессов.**

Анализируя природные факторы современного рельефообразования и обусловленных ими экзогенных процессов, мы пришли к выводу, что в результате влияния целого ряда факторов на территории области сформировалось значительное количество региональных, взаимосвязанных, порою взаимообусловленных комплексов современных экзогенных процессов, имеющих индивидуальные черты природы. Для классификации этих комплексов нами использовано таксономическая единица район-подрайон. Выделенные районы отличаются друг от друга своеобразием природных факторов и определенного комплекса преобладающих современных экзогенных процессов и различной степенью интенсивности их проявления (рис. 2):

*Район преобладания слабых эрозионных, оползневых и суффозионных процессов.* Этот район охватывает Песёлско-Ворсклинский район слабого эрозионного расчленения со слабым плоскостным смывом. На склонах местами проявляются небольшие оползни. На надпойменных террасах образуются суффозионные воронки. В пойменных участках рек происходит заболачивание, местами ярко выражена боковая эрозия рек, особенно на правых крутых берегах.

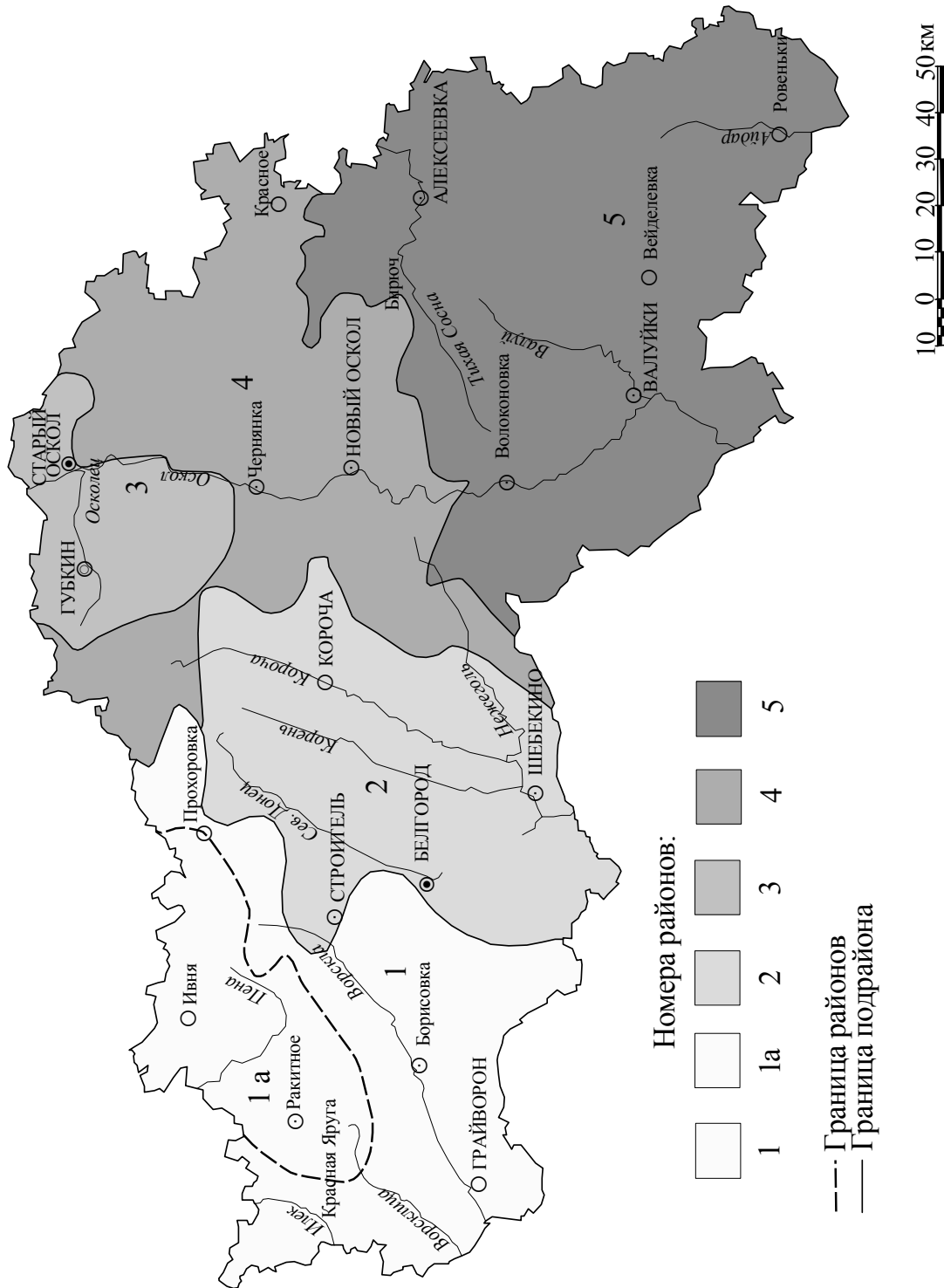


Рис. 2. Районирование современных экзогенных процессов Белгородской области

1а. Подрайон преобладания плоскостного смыва, оврагообразования, карсто-суффозионных и оползневых процессов. Этот подрайон охватывает Ивнянско-Пенский участок, который выделяется в северной части района №1. Он занимает площадь 250 тыс. га, характеризуется более сильным расчленением, междуречья узкие, сильноизрезанные. В результате интенсивного плоскостного смыва наблюдаются большие площади сильноэродированных земель. На склонах наблюдаются современное оврагообразование и оползневые процессы. На отдельных участках проявляются карсто-суффозионные процессы. Нередки случаи антропогенной активизации процессов, особенно оползней и плоскостного смыва.

2. *Район преобладания средне эрозионных, оползневых карстовых, суффозионных процессов и заболачивания пойм.* Этот район охватывает Корочанско-Северодонецкий район среднего эрозионного расчленения рельефа, среднего смыва почв. Занимает центральную часть области и расположен в пределах бассейна Северского Донца и его притоков. В сравнении с первым районом он характеризуется более значительным вертикальным расчленением и увеличением интенсивности проявления плоскостного смыва, оврагообразования, оползней, карста и на отдельных участках, сложенных лессовидными суглинками суффозионных процессов. Местами на открытых пространствах проявляется ветровая эрозия почв и развевание пойменных песков.

При подрезке склонов имеют случаи активизации гравитационных процессов, а при вырубке леса, интенсивном выпасе скота, распашки на склонах активизировались эрозионные процессы.

3. *Район преобладания сильных эрозионных, карстовых, эоловых, суффозионных, оползневых процессов и заболачивания пойм.* Этот район расположен в Верхнеоскольском районе сильного эрозионного расчленения в верховьях реки Оскол. Отличительная черта этого района – большие площади сильноэродированных земель и особенно маломощных почв. В результате интенсификации сельскохозяйственного производства и добычей полезных ископаемых открытым способом в этом районе существенную роль играет техногенный фактор, образующий целый комплекс антропогенных форм ландшафта (карьеры, шахты, отвалы, хвостохранилища, пруды, дамбы, водохранилища, вспашки, автомобильные и железные дороги, курганы, земляные валы, свалки, отстойники и др.).

Наряду с этим происходит и активизация гравитационных, эрозионных, эоловых и суффозионных процессов, особенно в результате проведения взрывных работ, рыхления почв, выемки грунтов и подрезки склонов.

4. *Район преобладания сильных эрозионных, гравитационных, суффозионных и карстовых процессов.* Расположен в среднем течении реки Оскол. Характерная черта этого района значительное вертикальное расчленения 80-100. Почвы сильно эродированы. Сложенные склоны древнеледниковые рыхлыми отложениями сильно поражены оврагами, балками и оползнями, на отдельных участках проявляются карстовые, суффозионные процессы в виде воронок и западин. Наиболее наглядно антропогенная активизация экзогенных процессов наблюдается на пахотных землях и при строительстве дорог.

5. *Район преобладания весьма сильных эрозионных, карстовых, оползневых и эоловых процессов.* Этот район занимает юго-восточную часть области, сильно эродированного расчленения и очень сильного смыва почв. Здесь эрозионные процессы – оврагообразование, плоскостной смыв, боковая эрозия рек получили максимальное распространение. На склонах интенсивно развиты оползневые процессы. Местами наблюдается сползание почвенно-растительного покрова. Общая площадь сильноэродированных почв здесь составляет около 100 тыс. га. На террасе и в пойме рек особенно на р. Оскол интенсивно проявляются суффозионные и эоловые процессы. Хозяйственная деятельность человека привела к активизации ветровой и водной эрозии почв.

Таким образом, на территории Белгородской области в условиях довольно сложно устроенного рельефа и разнообразия структурно-литологических и биоклиматических факторов сформировался целый комплекс современных экзогенных процессов, который зачастую активизируется в результате хозяйственной деятельности человека, нанося при этом определенный ущерб народному хозяйству области. Естественно в дальнейшем необходим мониторинг, стационарные площадки для количественного анализа экзодинамических процессов и дальнейшей разработке мер борьбы с ними.



### Литература

1. Петин А.Н. «Экзогенные геологические процессы» – Атлас природные ресурсы и экологическое состояние Белгородской области. – Белгород, 2005. – С. 32-33.
2. Дунаев В.А., Серый С.С., Фролов А.П., Полетаева Т.А. «Неотектоника» - Атлас природные ресурсы и экологическое состояние Белгородской области. – Белгород – 2005. – С. 26-27.
3. Хрисанов В.А. «Использование результатов геоморфологических исследований при геоэкологической оценке территории ЦЧО и сопредельных районов», Проблемы экологической геологии (материалы межгосударственного совещания XXV пленума геоморфологической комиссии РАН. – Белгород, 2000.

## MODERN GEOMORPHOLOGICAL PROCESSES IN BELGOROD REGION AND THEIR ANTHROPOGENIC ACTIVATION

**V.A. Khrisanov**  
**E.A. Bakhaeva**

*Belgorod State National Research  
University  
Pobedy St., 85, Belgorod, 308015,  
Russia*

*Secondary School № 41  
Yunosti Av., 4, Belgorod, Russia*

Various enough complex of modern geomorphological processes such as: weathering, gravitation, erosion, karst, suffusion, eolation and abrasion possessing a certain degree of dynamics and destroying capacity occurs in Belgorod region. They often cause certain damage to national economy of the region. There are frequent cases of anthropogenic activation of exogenic processes, especially near urbanized territories. Modern tectonic movements as well as climate change are conducive to activation of nature processes. In this connection stationary field survey and development of integrated anti destructive exogenic process measures of Belgorod region are required.

Key words: ecological and geomorphological processes, zoning of modern exogenic processes.

## АГРОЛАНДШАФТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА<sup>1</sup>

Изложены наиболее актуальные аспекты агроландшафтных исследований. Дается история становления агроландшафтоведения по самым основным вехам. Агроландшафт рассматривается как природно-антропогенная геосистема, предлагается схема его пространственной структуры. В качестве ключевых проблем агроландшафтоведения обозначены такие, как: классификация агроландшафтов, районирование и оценка экологической устойчивости. Отмечается необходимость типизации агроландшафтов в рамках существующей структурно-генетической классификации, а в качестве главного критерия выделения агроландшафтов называется генезис геоморфологической равнины. При определении экологической устойчивости агроландшафтов рассматриваются два подхода: с применением интегрального показателя – коэффициента экологической стабилизации, а также с учетом оптимальной структуры угодий, теоретически установленной и проверенной на практике для каждой конкретной агроландшафтной зоны. Главным фактором, стабилизирующим экологическое состояние агроландшафтных территорий в пределах лесостепной зоны севера Приволжской возвышенности, предложено считать степень залесенности.

**А.А. Юртаев**

*Нижегородский государственный педагогический университет,  
603950, г. Н. Новгород,  
ул. Ульянова, 1  
E-mail: yurtaevgeo@yandex.ru*

Ключевые слова: агроландшафт, пространственная структура агроландшафта, классификация, районирование агроландшафтов, оценка экологической устойчивости, оптимальная лесистость.

Перевод сельского хозяйства на ландшафтную основу поставил на повестку дня вопрос о необходимости расширения региональных ландшафтных (и агроландшафтных) исследований. Между тем вопрос о том, что такое агроландшафт до сих пор не определен в науке.

Агроландшафтоведение (как и ландшафтоведение) связывают, прежде всего, с работами В.В. Докучаева – знаменитыми докучаевскими экспедициями: Нижегородской (1882-1886 гг.), Полтавской (1888-1894 гг.), особой экспедицией Лесного департамента (1892-1897 гг.). В трудах В.В. Докучаева красной нитью прослеживается мысль о прочной взаимосвязи не только природных тел и явлений, но также природы и общественного производства. Развивая докучаевские идеи, Л.С. Берг уже в начале прошлого столетия ставил перед географией задачу по изучению и описанию ландшафтов, в т.ч. и сельскохозяйственных: «Без знания географических ландшафтов поднятие сельского хозяйства немислимо» [1].

Ценнейший опыт решения аграрных проблем на основе комплексных естественно-исторических изысканий содержат труды Л.Г. Раменского (1938) и И.А. Солнцева (1949). Их работы стали научно-методической основой комплексного изучения сельскохозяйственных земель в колхозах и совхозах в 60-е годы прошлого столетия. В 70-80-е годы XX века агроландшафтными исследованиями активно занимались Ф.И. Мильков, К.В. Зворыкин, В.А. Николаев, Б.И. Кочуров. В 1987 г. В.А. Николаев выдвинул концепцию агроландшафта, согласно которой ландшафт, вовлеченный в сельскохозяйственное производство, рассматривается как принципиально новое образование. «Агроландшафт – целостная, внутренне неоднородная природно-сельскохозяйственная

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке Госконтракта №14.740.11.0956 от 29.04.2011 г., шифр лота- 2011-1.4-505-003, наименование лота - «Проведение поисковых научно-исследовательских работ в целях развития общероссийской мобильности в области наук о Земле, экологии и рациональном природопользовании» Обобщенная тема ПНИР – Разработка методов и подходов комплексной оценки и ингибированию техногенного воздействия на окружающую среду.



геосистема, включающая как обрабатываемые земли, так и уголья иного функционального профиля» [2]. Однако немало исследователей, «большой частью далеких от современного ландшафтоведения, считают возможным именовать агроландшафтом любую агрогеосистему, будь то небольшой рабочий участок пашни, поля севооборота или сельскохозяйственные земли целого экономического региона. Иными словами, агроландшафт рассматривается как безразмерное понятие» [3]. Например, авторы учебника «Агроэкология», [4: 436] агроландшафтом называют территорию, на большей части которой «естественная растительность заменена посевами сельскохозяйственных растений. Авторы другого пособия «Агроландшафтоведение» [5: 60] считают, что «в большинстве случаев агроландшафт представлен формой мезорельефа – определенным холмом, террасой реки, широкой балкой».

В последнее время ученые в своих исследованиях все чаще возвращаются к Докучаевскому-Берговскому пониманию географического ландшафта (и агроландшафта). «Ландшафт – это не только природно-территориальный комплекс, но и охватывающий его социум» [6]. С учетом новых подходов к понятию «агроландшафт» и ранее опубликованных материалов [2, 7] нами предложена схема структуры агроландшафта (рис. 1). На схеме выделяются две подсистемы агроландшафта: природная и производственно-социальная. В природной – выделяются агроместности, агроурочища, агрофации; производственно-социальная подсистема предполагает функциональное зонирование, при этом выделяются дестабилизирующие и стабилизирующие экологическое состояние зоны, соотношение между которыми является важнейшим условием создания оптимального агроландшафта [8].

В стадии обсуждения в агроландшафтоведении находится и проблема классификации агроландшафтов. Стройная система таксономических единиц агроландшафтов представлена лишь в работах Ф.М. Милькова [9], который сельскохозяйственные ландшафты считал антропогенными (наряду с промышленными, селитебными, дорожными и т.д.) и в классификации выделял 2 класса по макрорельефу – равнинный и горный, а в них 4 подкласса – полевой, садовый, садово-парковый и лугово-пастбищный. В настоящее время такой принцип выделения агроландшафтов все больше подвергается сомнению. Связано это, в первую очередь с тем, что схема, предложенная Мильковым, слабо отражает природную специфику геосистем. По-сути, выделяются функциональные зоны (садовая, пастбищная и др.) а не реальные геосистемы. В то же время, границы функциональных зон могут совпадать с границами природных комплексов, а могут и не совпадать, могут их наследовать, а могут стирать. Иначе говоря, необходимы другие подходы к выделению агроландшафтов.

Поскольку агроландшафт в нашем понимании – это природно-антропогенное образование, то он (его природная составляющая) должен быть оценен, прежде всего, с позиций структурно-генетической классификации. Основными таксономическими единицами этой классификации являются, как известно, отделы, разряды, семейства, классы, типы, роды, виды. Тип выделяется в соответствии с почвенно-биоклиматическими условиями (например, для Присурья Нижегородской области – это лесостепной), подтипы – по генетическому типу рельефа (в Присурье это: эрозионно-денудационный, эрозионно-аккумулятивный, зандровый), виды – по условиям мезорельефа и мезоструктуры почвенного покрова (фактически совпадают с типом местности – плакорный, приводораздельный, присетьевой и т.д.).

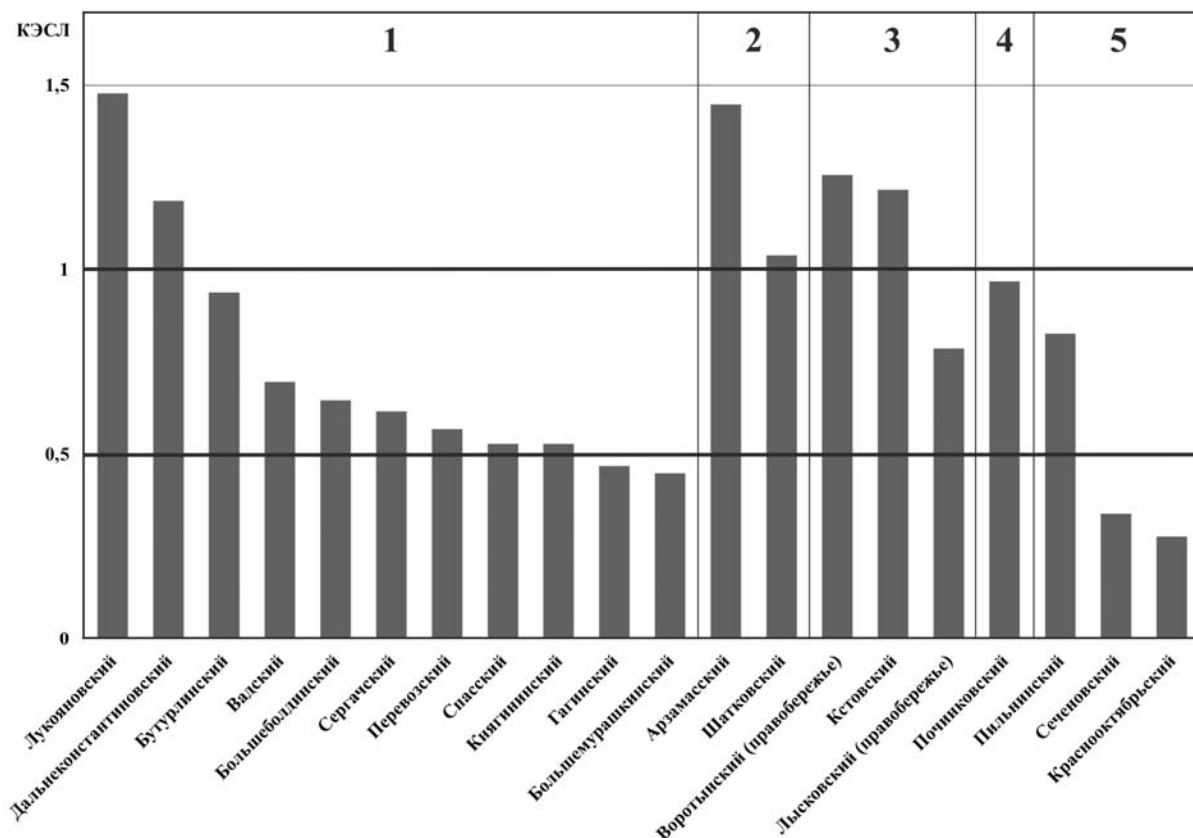
Агроландшафтное районирование, как и классификация агроландшафтов, является важнейшим элементом агроландшафтных исследований. В пределах той или иной исследуемой территории, как правило, имеет место агропочвенное и агроклиматическое районирование, геоморфологическое и физико-географическое. Все это должно учитываться при агроландшафтном районировании (как и ландшафтном). Однако в пределах конкретной природной зоны отправным моментом в агроландшафтном районировании является генетический тип равнины. Например, на территории Присурья в пределах эрозионно-денудационной равнины, сложенной мезозойскими глинистыми отложениями, распространены черноземные почвы с сохранившимися участками луговых степей. Здесь очень высокая освоенность, очень высокая

распаханность и полная обезлесенность территории (лесистость снижается до 1%). В тоже время в пределах задровых равнин развиты подзолистые почвы, имеется достаточно высокая лесистость (иногда более 30%), а освоенность, в т.ч. распаханность значительно меньше, чем в пределах денудационных равнин.

Очень важным вопросом в агроландшафтных исследованиях является оценка устойчивости агроландшафта (проблема разработана слабо). Даже имея отдельные оценки компонентов геосистемы, чрезвычайно сложно получить интегральную оценку ее устойчивости в целом. Например, по устойчивости против механических воздействий песчаные и супесчаные почвы будут иметь очень низкие оценки, а по свойствам физико-механического самоочищения от загрязнений – наиболее высокие. В процессе работы нами были проанализированы различные подходы к оценке геосистем, в т.ч. оценка по степени фактической эродированности территории, по потенциальной опасности проявления эрозионных процессов (по стоку наносов), по индексу разнообразия Симпсона (при оценке биоразнообразия), по соотношению угодий, по эколого-хозяйственному балансу на основе коэффициента относительной напряженности, коэффициента естественной защищенности территории и коэффициента экологической стабилизации [10]. Наиболее объективные показатели дает анализ территории по коэффициенту экологической стабилизации (отношение площади занятой стабилизирующими зонами агроландшафта к площади, занятой дестабилизирующими зонами – рис. 1).

Как показывают наши исследования на территории Присурья (рис. 2) ниже линии ярко выраженной экологической нестабильности территории находятся Гагинский, Большемурашкинский, Сеченовский и Краснооктябрьский административные районы. Особенно острая ситуация в последних двух районах. Вероятно, это связано с тем, что здесь самая низкая лесистость и самая высокая распаханность. Относительно высокий коэффициент защищенности наблюдается в Лукояновском, Дальнеконстантиновском и Арзамасском районах. Это обусловлено самой высокой лесистостью этих районов, а также сложившейся системой ООПТ. Поскольку система ООПТ в большинстве районов Присурья не сложилась, защищенность агроландшафта в основном зависит от лесистости, и вопросы оптимизации следует решать по отношению к теоретически разработанному и проверенному на практике оптимальному варианту для каждой конкретной ландшафтной (агроландшафтной) зоны.

В настоящее время определены понятия «оптимальная лесистость» (ОЛ) и «минимально необходимая лесистость» (МНЛ), разработаны и параметры лесистости. Хочется отдельно отметить, что проблема оптимального соотношения угодий в агроландшафте (такое соотношение, при котором экологическая ситуация в геосистеме стабилизируется) была поставлена еще В.В. Докучаевым. В последствии эта проблема по сути «переадресовывалась» и находилась в стадии постановки. Лишь в последнее время стали появляться работы, в которых предлагаются четкие параметры структуры угодий с учетом природно-зональной специфики территории [11]. В то же время, для территории Нижегородского Присурья такие параметры были разработаны еще в начале 70-ых гг. XX в. Так, согласно исследованиям Ф.М. Баканиной [12], на серых лесных почвах оптимальная лесистость должна соответствовать 25%, распаханность 50-55%. На северных черноземах (оподзоленных и выщелоченных) лесистость не должна быть ниже 15%, распаханность допускается 60-65%. В настоящее время предложено так же понятие «минимально необходимая лесистость» (МНЛ) [13]. МНЛ на серых лесных почвах и на черноземах составляет 8%. Лишь два района Присурья – Арзамасский и Шатковский – имеют лесистость на уровне минимально необходимой для сельхозугодий и оптимальной для всего административного района. В остальных районах требуется увеличение лесистости сельхозугодий до уровня МНЛ. Это будет способствовать стабилизации влагообеспеченности почв и возрождению малых рек (водность территории здесь снижена до 0.2%), стабилизируются эрозионные процессы, а также, несомненно, улучшатся условия проживания людей.



КЭСЛ (коэффициент экологической стабилизации)

0–0.5 – ярко выраженная экологическая нестабильность

0.51–1.0 – экологическая нестабильность

1.01–3.0 – условная экологическая стабильность

Агрорландшафтные районы

1 – Центральный

2 – Арзамасский

3 – Приволжский

4 – Починковский

5 – Присурский

Рис. 2. Уровень экологической стабильности агорландшафтных районов Нижегородского Присурья (по административным районам)

### Список литературы

1. Берг Л.С. Ландшафтно-географические зоны СССР. – Л.: Сельхозгиз, 1930. – 399 с.
2. Николаев В.А. Концепция агорландшафта // Вестник МГУ. Сер. 5. География. – 1987. – №2. – С. 22-27.
3. Николаев В.А. Адаптивная пространственно-временная структура агорландшафта // Вестник МГУ. Сер. 5. География. – 1999. – №1. – С. 22-26.
4. Агрорэкология / Под ред. В.А. Черникова. – М.: Колос, 2000. – 536 с.
5. Агрорландшафтоведение / Н.Г. Ковалев и др. – Москва-Тверь, 2004. – 492 с.
6. Кочуров Б.И. Современное землеустройство и управление землепользованием в России // Устойчивое развитие сельского хозяйства и сельских территорий: Зарубежный опыт и проблемы России. – М: Т-во науч. изданий КМК, 2005. – С. 322-334.
7. Солнцев В.Н. Полиструктурная концепция агорландшафта // Изменение природной среды: глобальный и региональный аспекты. – М., 1997. – С. 17-19.
8. Юртаев А.А. Агрорландшафты Нижегородского Присурья: теория и практика исследований. – Н. Новгород, 2007. – 99 с.
9. Мильков Ф.Н. Сельскохозяйственные ландшафты, их специализация и классификация // Вопросы географии. – 1984. – Сб. 124. – С. 24-34.
10. Клементова Е., Гейниге В. Оценка экологической устойчивости сельскохозяйственного ландшафта // Мелиорация и водное хозяйство. – 1995. – №5. – С. 33-34.
11. Орлова И.В. Ландшафтная планировка для целей сельскохозяйственного природопользования (на примере Благовещенского района Алтайского края): Автореф. дисс... канд. геогр. наук. – Барнаул, 2002. – 24 с.



12. Баканина Ф.М. О соотношении угодий в эродированных районах Горьковской области // География производительных сил Центральной России: Материалы науч. конф. – М.: МФГО СССР, 1971. – С. 187-188.

13. Иванова А.В. Заповедное дело в Волжском бассейне // Проблемы формирования региональных систем ООПТ: Материалы Всероссийск. науч.-практ. конф. – М.–Ярославль: ЯГПИУ, 2001. – С. 49-55.

## AGROLANDSCAPE RESEARCH: THEORY AND PRACTICE

### **A.A. Yurtaev**

*Nizhny Novgorod State Pedagogical  
University, Ulyanov St., 1,  
N. Novgorod, 603950, Russia  
E-mail: yurtaegeo@yandex.ru*

The article contains the most topical aspects of agrolandscape researches. It expounds the history of development of study of agrolandscape in the main points. Agrolandscape is considered as natural-anthropogenic geosystem, the scheme of its spatial structure suggested. The main problems of agrolandscape, such as classification of agrolandscapes, division of agrolandscapes into districts and valuation of ecological stability are singled out. The necessity of typification of agrolandscapes in conditions of the present genetically-structured classification is pointed out, the main criterion of selecting agrolandscapes being the genesis of plain. Two approaches are used to define ecological stability of agrolandscapes – applying integral indicator – coefficient of ecological stabilization, and also with a glance to optimal structure of land, determined theoretically and verified in practice for each specific agrolandscape zone. The percentage of forest land is considered to be the main factor, stabilizing the ecological condition of agrolandscape territories within the range of forest-steppe zone of the northern Privolgskaya Elevation.

Key words: agrolandscape, spatial structure of agrolandscape, classification, division of agrolandscapes into districts, valuation of ecological stability, optimal percentage of forest land.



## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

- Алябьева Т.М.** – кандидат химических наук, доцент, образовательное учреждение высшего профессионального образования «Белгородский университет потребительской кооперации», г. Белгород, Россия
- Батлуцкая И.В.** – доктор биологических наук, профессор, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия
- Бахаева Е.А.** – преподаватель, средняя общеобразовательная школа № 41, г. Белгород, Россия
- Белюсова Н.М.** – старший преподаватель, Приморский институт переподготовки и повышения квалификации работников образования, г. Владивосток, Россия
- Бельчинская Л.И.** – доктор технических наук, профессор, Воронежская государственная лесотехническая академия, г. Воронеж, Россия
- Бидолах Д.И.** – доцент, Бережанский агротехнический институт Национального университета биоресурсов и природопользования Украины, г. Тернополь, Украина
- Бобров Е.А.** – кандидат географических наук, доцент, Смоленский гуманитарный университет, г. Смоленск, Россия
- Булыгин С.Ю.** – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Белгородская государственная сельскохозяйственная академия, п. Майский, Белгородский район, Белгородская область, Россия
- Бухарева О.А.** – аспирант, Институт лесоведения РАН, Московская область, Одинцовский район, с. Успенское, Россия
- Быков А.В.** – доктор биологических наук, старший научный сотрудник, Институт лесоведения РАН, Московская область, Одинцовский район, с. Успенское, Россия
- Габрук Н.Г.** – кандидат биологических наук, доцент, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия
- Годымчук А.Ю.** – кандидат технических наук, доцент, Томский политехнический университет, г. Томск, Россия
- Горбачева А.А.** – кандидат биологических наук, доцент, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия
- Гусев А.А.** – кандидат сельскохозяйственных наук, Медицинский институт Тамбовского государственного университета им. Г.Р. Державина, г. Тамбов, Россия
- Давиденко А.В.** – студент, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия
- Дейнека В.И.** – доктор химических наук, профессор, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия
- Дейнека Л.А.** – кандидат химических наук, доцент, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия
- Долгих А.В.** – кандидат географических наук, научный сотрудник, Институт географии РАН, г. Москва, Россия
- Дунаев А.В.** – кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник, ботанический сад Белгородского государственного национального исследовательского университета, г. Белгород, Россия
- Дунаев В.А.** – доктор геолого-минералогических наук, профессор, действующий член Российской академии естественных наук и Международной академии минеральных ресурсов, Всероссийский научно-исследовательский институт по осушению месторождений полезных ископаемых, защите инженерных сооружений от обводнения, специальным горным работам, геомеханике, геофизике, гидротехнике, геологии и маркшейдерскому делу, г. Белгород, Россия
- Дунаева Е.Н.** – кандидат сельскохозяйственных наук, ботанический сад Белгородского государственного национального исследовательского университета, г. Белгород, Россия
- Емельянов А.В.** – кандидат биологических наук, доцент, Институт естествознания Тамбовского государственного университета им. Г.Р. Державина, г. Тамбов, Россия
- Ермолович Е.А.** – кандидат технических наук, старший преподаватель, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия
- Зимовина Л.В.** – ассистент, Белгородская государственная сельскохозяйственная академия, п. Майский, Белгородский район, Белгородская область, Россия



- Игнатенко И.М.** – аспирант, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия
- Изместьев К.А.** – аспирант, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия
- Каганов В.В.** – младший научный сотрудник, Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов, г. Москва, Россия
- Клубкова Г.В.** – начальник отдела, Белгородский центр по гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды, г. Белгород, Россия
- Колмыков С.Н.** – ассистент, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия
- Корниенко Е.В.** – аспирант, Институт экспериментальной и теоретической биофизики РАН, г. Пущино, Московская обл., Россия
- Корнилов А.Г.** – доктор географических наук, профессор, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия
- Крымская О.В.** – кандидат географических наук, доцент, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия
- Кузнецов Д.В.** – кандидат технических наук, Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва, Россия
- Кумани М.В.** – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Курский государственный университет, г. Курск, Россия
- Курганова И.Н.** – доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник, доцент, Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, г. Пущино, Московская обл., Россия
- Кухарук Н.С.** – кандидат биологических наук, доцент, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия
- Лебедева М.Г.** – кандидат географических наук, доцент, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия
- Лисецкий Ф.Н.** – доктор географических наук, профессор, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия
- Маканина О.А.** – ассистент, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия
- Маликов И.В.** – аспирант, Институт теоретической и экспериментальной биофизики РАН, г. Пущино, Московская обл., Россия
- Масленникова Е.В.** – магистрант, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия
- Метелев А.В.** – магистрант, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия
- Михайлова С.Г.** – аспирант, Ярославский государственный педагогический университет им. К.Д. Ушинского, г. Ярославль, Россия
- Новых И.Е.** – аспирант, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия
- Новых Л.Л.** – кандидат биологических наук, доцент, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия
- Овчинников А.В.** – старший преподаватель, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия
- Олейникова И.И.** – кандидат педагогических наук, доцент, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия
- Павлов Н.А.** – аспирант, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия
- Панаит А.И.** – аспирант, Институт теоретической и экспериментальной биофизики РАН, г. Пущино, Московская обл., Россия
- Петин А.Н.** – доктор географических наук, профессор, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия
- Погорелов А.Г.** – доктор биологических наук, профессор, ведущий научный сотрудник, Институт теоретической и экспериментальной биофизики РАН, г. Пущино, Московская область, Россия
- Погорелова В.Н.** – кандидат биологических наук, Институт теоретической и экспериментальной биофизики РАН, г. Пущино, Московская область, Россия
- Погорелова М.А.** – кандидат биологических наук, Институт теоретической и экспериментальной биофизики РАН, г. Пущино, Московская область, Россия



- Рустамова К.М.** – младший научный сотрудник, Азербайджанский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства Министерства экологии и природных ресурсов Азербайджанской республики, г. Баку, Азербайджанская Республика
- Сергин С.Я.** – доктор географических наук, профессор, Российский государственный гидрометеорологический университет, филиал в г. Туапсе, Россия
- Силина А.Е.** – старший научный сотрудник, Государственный природный заповедник «Белогорье», пос. Борисовка, Белгородская обл., Россия
- Смирнова Л.Г.** – доктор биологических наук, профессор, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия
- Снегин Э.А.** – кандидат биологических наук, доцент, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия
- Соловьева Ю.А.** – кандидат географических наук; ВНИИ земледелия и защиты почв от эрозии, г. Курск, Россия
- Стрельникова О.Ю.** – кандидат химических наук, доцент, Воронежская государственная лесотехническая академия, г. Воронеж, Россия
- Ткачев А.Г.** – доктор технических наук, профессор, ООО «НаноТехЦентр», г. Тамбов, Россия
- Тукин В.Н.** – аспирант, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия
- Украинский П.А.** – аспирант, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия
- Федорова М.З.** – доктор биологических наук, профессор, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия
- Ходосова Н.А.** – кандидат химических наук, старший преподаватель, Воронежская государственная лесотехническая академия, г. Воронеж, Россия
- Хрисанов В.А.** – доктор географических наук, профессор, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия
- Хуинь Тхи Тхуи Чанг** – магистрант, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия
- Чендев Ю.Г.** – доктор географических наук, профессор, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия
- Чернявских С.Д.** – кандидат биологических наук, доцент, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия
- Чулков А.Н.** – аспирант, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия
- Шутова С.В.** – кандидат биологических наук, доцент, Медицинский институт Тамбовского государственного университета им. Г.Р. Державина, г. Тамбов, Россия
- Юртаев А.А.** – кандидат географических наук, доцент, Нижегородский государственный педагогический университет, г. Нижний Новгород, Россия

**Правила оформления статей в журнал  
«Научные ведомости Белгородского государственного университета»:  
серия «Естественные науки»**

В журнале «Научные ведомости Белгородского государственного университета» публикуются статьи теоретического, методического и прикладного характера, содержащие завершённые результаты оригинальных исследований автора (соавторов) по разделам «Науки о Земле», «Химия» и «Биология» ранее нигде не опубликованные. Обзорные статьи публикуются по заявкам редколлегии или в особых случаях.

Статьи представляются в редколлегию в печатном (1 экз.) и электронном виде с использованием Microsoft Word для Windows. Поля страницы (формата А-4): левое – 3 см, другие по 2 см. Текст (весь) – шрифтом Times New Roman, 12 pt, межстрочный интервал – одинарный, красная строка (абзац) – 1,25 см., выравнивание по ширине. Страницы не нумеруются. Объём статей не должен превышать 12 страниц, включая иллюстративный и графический материал, таблицы, список литературы.

Перед названием статьи необходимо указать УДК (слева сверху). Название статьи оформляется строчными буквами, (12 pt) с выравниванием по центру. Ниже через два интервала указываются инициалы и фамилии авторов (12 pt) с выравниванием по центру. Ниже через два интервала указываются название и адрес места работы (с указанием почтового индекса, e-mail автора (соавторов)) обычный шрифт (12 pt) с выравниванием по центру.

Аннотация статьи (резюме) должна располагаться ниже на два пробела от последнего адреса места работы авторов – обычный шрифт (12 pt) с выравниванием по ширине. В конце аннотации необходимо указать ключевые слова (5–7).

В конце статьи на английском языке приводятся название, инициалы и фамилии авторов, места работы авторов с почтовыми и электронными адресами, аннотация и ключевые слова с теми же правилами оформления, что и на русском языке.

В статье должны четко и сжато излагаться современное состояние вопроса, описание методики исследований и обсуждение полученных результатов. Заглавие статьи должно полностью отражать ее содержание. Рекомендуется стандартизировать структуру статьи, используя подзаголовки: Введение (теоретический анализ); Экспериментальная часть: объекты и методы исследования, результаты и их обсуждение, заключение (выводы); Список литературы.

Если статья выполнена при поддержке гранта или на основе доклада, прочитанного на конференции, то необходимо сделать соответствующую сноску в заголовке статьи (см. пример).

К статьям, направляемым в редколлегию, должна быть приложена авторская справка: Фамилия, Имя, Отчество, научная степень, ученое звание, место работы, должность, точный почтовый адрес (с почтовым индексом), контактный телефон, факс, e-mail.

К статьям, выполненным аспирантами или соискателями научной степени кандидата наук, необходимо приложить рекомендацию, подписанную научным руководителем (если руководитель не является соавтором).

Редколлегия направляет полученные статьи на рецензирование.

Редколлегия оставляет за собой право вернуть статью на доработку.

**Условия публикации.** В течение календарного года автором (авторским коллективом) в журнале может быть опубликовано не более 4-х статей. К публикации принимаются материалы подписчиков журнала (не менее чем полугодовая подписка). Копия квитанции прилагается к материалам, направляемым для публикации.

Более подробную информацию о правилах оформления статей для серии «Естественные науки» и условиях публикации можно получить по адресу [http://www.bsu.edu.ru:8806/dok\\_fakt.htm](http://www.bsu.edu.ru:8806/dok_fakt.htm)



## Пример оформления статьи

УДК 51-72:530.145

Полуклассическое приближение к исследованию двумерных гамильтоновых систем на основе метода нормальных форм<sup>1</sup>Н.А. Иванов<sup>1</sup>, В.Н. Петров<sup>2</sup>, Н.Н. Сидоров<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Белгородский государственный университет, Россия, 308015, г. Белгород,  
ул. Победы, 85

E-mail: Ivanov@bsu.edu.ru

<sup>2</sup> Академия гражданской защиты Украины, Украина, 61023, г. Харьков, ул. Чернышевского, 94

<sup>3</sup> ННЦ Харьковский физико-технический институт, Украина, 61108, г. Харьков, ул. Академическая, 1

Изложена процедура приведения .... Установлено, что ... .

Ключевые слова: классический гамильтониан, нормальная форма Биркгофа-Густавсона, ... .

**Введение**

К настоящему времени установлено существование детерминированного хаоса в различных классических динамических системах [1, 2]. Известно, что детерминированный или классический хаос возможен в консервативных гамильтоновых системах даже с двумя степенями свободы [3], а также и в одномерных гамильтоновых системах, но зависящих от времени [4].

**Материал и методы****Результаты исследований****Заключение****Список литературы (ГОСТ-1986)**

1. Лихтенберг А., Либерман М. Регулярная и стохастическая динамика. – М.: Мир, 1984. – 528 с.
2. Степановский Ю.П. Атом водорода во внешнем поле как ангармонический осциллятор // УФЖ. – 1987. – Т. 32. – С. 1316–1321.
3. Соловьев Е.А. Адиабатические инварианты и проблема квазиклассического квантования многомерных систем // ЖЭТФ. – 1978. – Т. 75, вып. 4. – С. 1261–1268.
4. Gutzwiller M.C. Chaos in Classical and Quantum Mechanics. – New York: Springer, 1990. – 432 p.
5. Henon M. Integrals of the Toda lattice // Phys. Rev. – 1974. – Vol. 9, № 4. – P. 1921–1923.

<sup>1</sup> Работа выполнена при частичной грантовой поддержке РФФИ: №03-02-17695, №03-02-16263

**A Semiclassical Approach to the Investigation of the Two-Dimensional Hamiltonian Systems  
by the Normal Form Method**

**N.A. Ivanov<sup>1</sup>, V.N. Petrov<sup>2</sup>, N.N. Sidorov<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Belgorod State National Research University, Pobedy St., 85, Belgorod, 308015, Russia  
E-mail: Ivanov@bsu.edu.ru

<sup>2</sup> Civil defence Academy of Ukraine, Chernyshevsky St. 94, Kharkov, 61023, Ukraine

<sup>3</sup> National Scientific Center, Kharkov Institute for Physics and Technology, Akademi-  
cheskaja St. 1, Kharkov, 61108, Ukraine

The receiving procedure of classical Hamiltonian to the Birkhoff-Gustavson normal form is described. With help ... .

Key words: classical Hamiltonian, Birkhoff-Gustavson normal form, Weyl correspondence rule, energy spectra, wave function, method of quantization.





Подписка на журнал осуществляется через отделения связи.

	<b>Ф. СП 1</b>													
	Министерство связи Российской Федерации													
	<b>АБОНЕМЕНТ на</b>						газету						<b>81466</b>	
							журнал							
	НАУЧНЫЕ ВЕДОМОСТИ БЕЛГОРОДСКОГО (индекс издания)													
	ГОС. УН-ТА. ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ										Кол-во			
	(наименование издания)										компл.			
	На 2011 год по месяцам													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
									+			+		
Куда														
(почтовый индекс) (адрес)														
Кому														
линия отреза														
						<b>ДОСТАВОЧНАЯ</b>			<b>81466</b>					
ПВ	место		литер	<b>КАРТОЧКА</b>			(индекс издания)							
На газету <b>НАУЧНЫЕ ВЕДОМОСТИ БЕЛГОРОДСКОГО</b>														
<b>журнал</b> (наименование издания)														
<b>ГОС. УНИВЕРСИТЕТА. ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ</b>														
Стои- мость		подписки				руб.				Кол-во				
		переадресовки				руб.				компл.				
На 2011 год по месяцам														
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
								+			+			
код улицы		Улица												
дом	корпус	квартира	(фамилия, и. о.)											

