



**ВЕСТНИК РОССИЙСКОГО УНИВЕРСИТЕТА ДРУЖБЫ НАРОДОВ.  
СЕРИЯ: ЭКОЛОГИЯ И БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

Том 25 № 3 (2017)  
DOI 10.22363/2313-2310-2017-25-3  
<http://journals.rudn.ru/ecology>

**Научный журнал  
Издается с 1993 г.**

Издание зарегистрировано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор)  
Свидетельство о регистрации ПИ № ФС 77-61176 от 30.03.2015 г.  
Учредитель: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет дружбы народов»

---

**Главный редактор**

**Редина Маргарита Михайловна** — доктор экономических наук, заведующая кафедрой прикладной экологии экологического факультета РУДН

**Члены редакционной коллегии**

**Калабин Геннадий Александрович** — доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры системной экологии экологического факультета РУДН

**Никольский Александр Александрович** — доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры системной экологии экологического факультета РУДН

**Хаустов Александр Петрович** — доктор геолого-минералогических наук, профессор, профессор кафедры прикладной экологии экологического факультета РУДН

**Хуторской Михаил Давыдович** — доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры прикладной экологии экологического факультета РУДН

**Валерио Агнесси** — директор Итало-Российского экологического Университета Палермо (Италия)

**Леонардо Гатто** — профессор Университета Палермо (Италия)

**Зоренко Татьяна Анатольевна** — кандидат биологических наук, профессор биологического факультета Латвийского университета

**Седов Сергей Николаевич** — профессор Института геологии UNAM (Мексика)

**Чен Хи** — заместитель директора Хунаньского Центра по борьбе с болезнями и профилактике (Китай)

**Ван Жэньцин** — профессор, исполнительный директор постоянного комитета экологической ассоциации КНР, заведующий лабораторией экологии и биоразнообразия Института биологии Шаньдунского университета КНР

## ВЕСТНИК РОССИЙСКОГО УНИВЕРСИТЕТА ДРУЖБЫ НАРОДОВ. СЕРИЯ: ЭКОЛОГИЯ И БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

ISSN 2408-8919 (online); ISSN 2313-2310 (print)

4 выпуска в год (ежеквартально).

Языки: русский, английский.

Индексация: РИНЦ, ВАК, Google Scholar, Ulrich's Periodicals Directory, WorldCat, Cyberleninka.

### Цель и тематика

Целью журнала «Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности» является повышение эффективности научных исследований в области охраны окружающей среды и экологии человека, а также распространение современных методов исследований и новейших достижений в области рационального природопользования. Начиная с 1993 г. в журнале публикуются результаты фундаментальных и прикладных работ ученых, преподавателей, аспирантов в виде научных статей, научных сообщений, библиографических обзоров по следующим направлениям: общая экология, природопользование, устойчивое развитие, экологическая безопасность, защита окружающей среды, экология человека, экологическая экспертиза, радиоэкология и радиационный контроль, оценка состояния окружающей среды и экологическое образование.

В журнале могут публиковаться результаты оригинальных научных исследований представителей высших учебных заведений и научных центров России и зарубежных стран в виде научных статей, научных сообщений по тематике, соответствующей направлениям журнала.

### Основные рубрики журнала:

«Экология», «Безопасность деятельности человека», «Защита окружающей среды», «Экология человека», «Биогеохимия», «Геоэкология», «Биологические ресурсы», «Проблемы экологического образования».

Кроме научных статей публикуется хроника научной жизни, включающая рецензии, обзоры, информацию о конференциях, научных проектах и т.д. Для привлечения к научным исследованиям и повышения качества квалификационных работ журнал предоставляет возможность публикации статей, написанных по материалам лучших магистерских работ.

Правила оформления статей, архив и дополнительная информация размещены на сайте: <http://journals.rudn.ru/ecology>.

---

Редактор: *М.П. Малахов*

Компьютерная верстка: *О.Г. Горюнова*

#### Адрес редакции:

ул. Орджоникидзе, д. 3, Москва, Россия, 115419

Тел.: (495) 955-07-16; e-mail: [ipk@rudn.university](mailto:ipk@rudn.university)

#### Адрес редакционной коллегии серии «Экология и безопасность жизнедеятельности»:

Подольское шоссе, д. 8/5, Москва, Россия, 113093

Тел.: (495) 952-70-28; E-mail: [ecojournalrudn@rudn.university](mailto:ecojournalrudn@rudn.university)

---

Подписано в печать 15.11.2017. Выход в свет 30.12.2017. Формат 70×100/16.

Бумага офсетная. Печать офсетная. Гарнитура «NewtonС».

Усл. печ. л. 10,48. Тираж 500 экз. Заказ № 813. Цена свободная.

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования

«Российский университет дружбы народов» (РУДН)

117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6

Отпечатано в типографии ИПК РУДН

115419, Москва, Россия, ул. Орджоникидзе, д. 3, тел. (495) 952-04-41; e-mail: [ipk@rudn.university](mailto:ipk@rudn.university)





**RUDN JOURNAL OF ECOLOGY AND LIFE SAFETY**

**VOLUME 25 NUMBER 3 (2017)**  
**DOI 10.22363/2313-2310-2017-25-3**  
**<http://journals.rudn.ru/ecology>**  
**Founded in 1993**

**Founder: PEOPLES' FRIENDSHIP UNIVERSITY OF RUSSIA**

---

**EDITOR-IN-CHIEF**

***Redina Margarita Mikhailovna*** — Doctor of Economics, Head of Department of Applied Ecology, Ecological Faculty, People's Friendship University of Russia

**EDITORIAL BOARD**

***Kalabin Gennady Alexandrovich*** — Doctor of Biological Sciences, Professor of the Department of System Ecology Ecological Faculty, People's Friendship University of Russia

***Nikolsky Alexander Alexandrovich*** — Doctor of Biological Sciences, Professor, Professor of the Department of System Ecology, Ecological Faculty, People's Friendship University of Russia

***Khaustov Alexander Petrovich*** — Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor of the Department of Applied Ecology, Ecological Faculty, People's Friendship University of Russia

***Khutorskoy Michael Davydovich*** — Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor of the Department of Applied Ecology, Ecological Faculty, People's Friendship University of Russia

***Valerio Agnessi*** — Director of Italian-Russian Environmental University of Palermo (Italy)

***Leonardo Gatto*** — Professor of the University of Palermo (Italy)

***Zorenko Tatiana Anatolievna*** — Habilitated Doctor of Biological Sciences, Professor of the Biological Faculty of the University of Latvia

***Sedov Sergey Nikolaevich*** — Professor of the Institute of Geology UNAM (Mexico)

***Cheng Hui*** — Deputy Director of the Huang Chinese Center for Disease Control And Prevention

***Wan Zhenzhin*** — Professor, Executive Director of the Permanent Committee of Ecologic Association of the People's Republic of China, Head of the Laboratory of Ecology and Biodiversity of the Institute of Biology of the Shandong University in China

**RUDN JOURNAL OF ECOLOGY AND LIFE SAFETY.**  
**Published by the Peoples' Friendship University of Russia, Moscow**

ISSN 2408-8919 (online); ISSN 2313-2310 (print)

4 issues per year.

Languages: Russian, English.

Indexing: RSCI, HAC, Google Scholar, Ulrich's Periodicals Directory, WorldCat, Cyberleninka

**Aim and Scope**

An efficiency increase in the field of environmental protection and scientific research of human ecology, as well as the spread of modern methods of research and the latest achievements in the field of environmental management are the aim of the journal "Bulletin of Russian Peoples Friendship University. Series: Ecology and Life Safety". Since 1993 the results of fundamental and applied research of scientists, professors, post-graduate students are published in the journal in the form of scientific articles, scientific reports and bibliographic reviews. Papers are focused on general ecology, environmental management, sustainable development, environmental safety, environmental protection, human ecology, environmental impact assessment, radioecology and radiation monitoring and ecological education.

The results of original research of universities staff and Russian and foreign countries scientific centers in the form of scientific articles, scientific reports can be published in the journal. Subject of studies have to correspond to the journal scopes.

**Main thematic sections:**

The main headings of the journal are ecology, the safety of human activity, environmental defence, human ecology, biogeochemistry, geoecology, biological resources and problems of environmental education.

Chronicle of scientific events, including reviews, information about conferences, research projects, etc. are published in addition to scientific articles.

Journal allows publication of articles based on the best master's thesis for the purpose of intensification of research activity and improving the quality of qualification works.

Author guidelines, archive and other information are available on the website: <http://journals.rudn.ru/ecology>.

---

Editor *M.P. Malakhov*

Computer design: *O.G. Gorunova*

**Address of the editorial board:**

Ordzhonikidze str., 3, Moscow, Russia, 115419

Ph. +7 (495) 955-07-16; e-mail: [ipk@rudn.university](mailto:ipk@rudn.university)

**Address of the editorial board Series "Ecology and Life Safety":**

Podolskoye shosse, 8/5, Moscow, Russia, 113093

Tel. +7 (495) 952-70-28; E-mail: [ecojournalrudn@rudn.university](mailto:ecojournalrudn@rudn.university)

---

Printing run 500 copies. Open price.

Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education  
"Peoples' Friendship University of Russia"

6 Miklukho-Maklaya str., 117198 Moscow, Russia

**Printed at RUDN Publishing House:**

3 Ordzhonikidze str., 115419 Moscow, Russia,

Ph. +7 (495) 952-04-41; e-mail: [ipk@rudn.university](mailto:ipk@rudn.university)

## СОДЕРЖАНИЕ

### ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ

- Нарбеков М.Ф.** Обоснование организации инфраструктуры экологических видов транспорта в г. Баку и Бакинской агломерации ..... 335
- Скриган А.Ю., Шилова И.В., Мельникова И.С., Щур А.В.** Сравнительная оценка системы обращения с твердыми коммунальными отходами в Беларуси, России и Казахстане ..... 353

### ГЕОЭКОЛОГИЯ

- Расказов А.А., Горбатов Е.С., Васильева Е.Ю.** Месторождения лимногенных углеводородов и геоэкологические аспекты, связанные с их генезисом ..... 366
- Касимов Н.С., Корляков И.Д., Кошелева Н.Е.** Распределение и факторы аккумуляции тяжелых металлов и металлоидов в речных донных отложениях на территории г. Улан-Удэ... 380
- Хаустов А.П.** Геохимические барьеры как форма самоорганизации естественных геосистем ..... 396

### БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

- Васильев В.Г., Калабин Г.А., Букаса Митео Иван, Рудачевский Д.Д.** О необходимости совершенствования контроля безопасности и качества экстрактов из листьев гинкго билоба ..... 414

### ЭКОЛОГИЯ

- Полынова Г.В., Мишустин С.С.** Сезонные изменения половозрастной структуры популяции круглоголовки-вертихвостки (*Phrynocephalus Guttatus Guttatus Gmel.*) ..... 431

### ЭКОНОМИКА ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

- Ахмедина К.К.** Подходы к учету экологических факторов при формировании цены на недвижимость на примере г. Астана ..... 442

### ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

- Хаустов А.П., Редина М.М., Алейникова А.М., Мамаджанов Р.Х., Силаева П.Ю.** Инновационный экологический образовательный проект «Зеленый кампус РУДН» ..... 448

## CONTENTS

### INDUSTRIAL ECOLOGY

- Narbekov M.F.** Substantiation of sustainable transport infrastructure engineering in Baku and Baku agglomeration..... 335
- Skryhan H., Shilova I., Melnikava I., Shchur A.** Comparative assessment of municipal solid waste management system in Belarus, Russia and Kazakhstan ..... 353

### GEOECOLOGY

- Rasskazov A.A., Gorbатов E.S., Vasilieva E.U.** Deposits of lacustrine hydrocarbons and geoecological aspects related to their genesis ..... 366
- Kasimov N.S., Korlyakov I.D., Kosheleva N.E.** Distribution and factors of accumulation of heavy metals and metalloids in river bottom sediments in the territory of the Ulan-Ude city ..... 380
- Khaustov A.P.** Geochemical barriers as forms of geosystems' self-organization..... 396

### LIFE SAFETY

- Vasil'ev V.G., Kalabin G.A., Bucasa Miteo I., Rudachevskiy D.D.** On the need to improve the safety and quality control of extracts from the leaves of ginkgo biloba..... 414

### ECOLOGY

- Polynova G.V., Mishustin S.S.** Seasonal changes in the *Phrynocephalus Guttatus Guttatus*mel. population age and sex structure ..... 431

### ENVIRONMENTAL ECONOMICS

- Akhmedinova K.K.** Approaches to accounting environmental factors in forming the price for real estate by the example of Astana..... 442

### ENVIRONMENTAL EDUCATION

- Khaustov A.P., Redina M.M., Aleynikova A.M., Mamadzhyanov R.Kh., Silaeva P.Yu.** Innovative environmental educational project "Green campus of RUDN-University" ..... 448



DOI 10.22363/2313-2310-2017-25-3-335-352

УДК 504.06: 711.7

## ОБОСНОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ ИНФРАСТРУКТУРЫ ЭКОЛОГИЧНЫХ ВИДОВ ТРАНСПОРТА В Г. БАКУ И БАКИНСКОЙ АГЛОМЕРАЦИИ

М.Ф. Нарбеков

Казанский государственный архитектурно-строительный университет  
ул. Зеленая, 1, Казань, Республика Татарстан, Россия, 420043

*Объект исследования* — транспортная инфраструктура г. Баку и Бакинской агломерации (БА). *Предмет исследования* — развитие экологически рациональных видов транспорта в г. Баку и БА, зарубежный опыт организации инфраструктуры экологичных способов мобильности. *Цель работы* — дать экологическое обоснование развитию сети трамвайного и велосипедного сообщения в г. Баку. *Методы и методика исследования* — социопрос, математические методы, картографический и климатический анализ, SWOT-анализ, описание. *Информационная база* — данные Центра интеллектуального управления транспортом, данные социопроса на популярных интернет сайтах, нормативно-правовая база и статистические данные ведомств зарубежных стран. *Результаты работы и апробация* — результаты исследования могут быть использованы для реализации концепции развития экологически рациональных способов передвижения на территории БА. *Прогнозные предложения* — первоначальный этап развития сети трамвайного сообщения (СТС) в г. Баку предполагает строительство трамвайной линии вдоль бакинской набережной. В долгосрочной перспективе планируется проведение железнодорожных линий до Бакинского международного аэропорта им. Гейдара Алиева, а также туристических центров Шахдаг и Габала; в настоящее время ведутся работы по проектированию данных линий сообщения.

**Ключевые слова:** сеть трамвайного сообщения, легкорельсовый транспорт, велосипедное движение, экология городской среды, экологичные способы мобильности, загруженность транспортных средств, рациональное использование дорожного полотна, провозная способность общественного транспорта

### Введение

С начала приобретения независимости в Азербайджане особое внимание уделяется развитию транспортной инфраструктуры (ТИ). При поддержке президента Азербайджана И.Г. Алиева претворяются в жизнь инициативы модернизации системы транспорта в республике и столичном регионе. Несмотря на трудности переходного периода, в сфере развития транспортной системы за относительно короткие сроки удалось достичь ощутимых результатов.

Наряду с существующими мерами по оптимизации функционирования ТИ Бакинской агломерации (ТИБА) развитие сети экологически рациональных видов транспорта (подземное метро, городской трамвай, наземный легкорельсовый транспорт, велосипедное сообщение и др.) также позволит разгрузить улично-

дорожную сеть, улучшить экологию городов путем сокращения объема выпускных газов, сократить время и средства, затраченные на поездки. С этой целью сокращение количества поездок на личном автомобиле без пассажиров, развитие инфраструктуры общественного транспорта (ОТ), велосипедного и пешеходного движения, строительство мультимодальных пересадочных узлов повышенной транспортной доступности для всех категорий граждан, включая людей с ограниченными физическими возможностями является одной из первостепенных задач развития транспортной системы БА.

Проблема загруженности дорог БА заключается в высоких темпах автомобилизации в регионе — за 15-летний период (2000—2015 гг.) количество частных автомобилей в г. Баку увеличилось в 5,2 раза (104% рост за период 2000—2005 гг., 107% рост за период 2005—2015 гг. и 24% — за период 2010 по 2015 гг.).

Причины возникновения проблем, связанных с несоответствием развития дорожно-транспортной сети по отношению к уровню автомобилизации: 1) наследие советского градостроительства — планировка территорий городов, населенных пунктов (НП) и развитие ТИ в условиях плановой экономики и существующей на тот период времени системы расселения; 2) смена социально-экономической формации, переход к рыночной экономике; кредитование частной собственности на движимое и недвижимое имущество.

С началом разработки генерального плана Большого Баку (условно — 2011 г.) градостроительство в столичном регионе вышло на новый уровень развития; стихийные градостроительные процессы, которые имели место в постсоветский период, сменяются ревитализацией территорий застройки.

Решение о начале разработки данной стратегии было принято в 2008-м г. С 1-го января 2013 г. вступил в силу градостроительный и строительный кодекс Азербайджанской Республики, призванный положить конец разрастанию неорганизованных поселений, которые, согласно оценке экспертов, занимают свыше 15 тыс. га земли на территории Апшеронского полуострова.

Стихийная застройка влечет за собой проблемы развития улично-дорожной сети (УДС), являющейся структурообразующим градостроительным каркасом территорий населенных пунктов и районов города, а высокий уровень автомобилизации негативно влияет на экологию городской среды.

В данных условиях одним из решений реновации ТИБА служит возрождение и развитие экологически рациональных способов мобильности (трамвай, велосипед), которые получили широкое распространение в странах мира. Трамвай — один из популярных видов легкорельсового транспорта (ЛРТ) за рубежом. Системы ЛРТ развиваются в США, Канаде, Европе, странах Азиатско-Тихоокеанского региона.

**Вопросы развития экологически рациональных способов мобильности Бакинской агломерации.** По генплану 1986 г. к 2006 г. предполагалось достичь 70% показателя пассажироперевозок электрифицированного транспорта от общего объема городских перевозок на ОТ. В постсоветский период был произведен демонтаж существующих троллейбусных и трамвайных линий города Баку. К 2016 г. доля электрифицированного транспорта составила около 30%.

Согласно проведенному опросу населения г. Баку, более половины автомобилистов и потенциальных автовладельцев готовы сменить свои предпочтения в пользу экологически чистых видов транспорта. С развитием сети легкорельсового транспорта и велосипедного сообщения можно достичь значительного сокращения количества автомобилей на основных направлениях столицы.

В таблице 1 представлены данные Центра интеллектуального управления транспортом (ЦИУТ) по среднему показателю ежедневного объема автомобильного потока по основным магистралям г. Баку и БА за 2014 г.

Таблица 1

**Средний показатель ежедневного объема автомобильного потока по основным магистралям г. Баку и БА за 2014 г.**

Название улицы или проспекта (направление движения)	Количество автомобилей	Максимальное число полос движения
Тбилисский проспект (север / юг)	48523 / 48814	6
проспект Нефтяников (восток / запад)	80812 / 52026	8
ул. Узеира Гаджибекова	62429	8
ул. Зарифы Алиевой	48214	4
ул. Бакиханова (восток / запад)	46499 / 39462	6
пр. Нобеля (восток / запад)	37063 / 42000	8
пр. Гейдара Алиева (восток / запад)	88731 / 89147	12
магистраль Баку — Сумгаит (юго-запад / северо-восток)	84438 / 86538	6
ул. Юсифа Сафарова (север / юг)	66251 / 58237	10

Table 1

**Average daily traffic flow on the main city roads in Baku and BA over 2014**

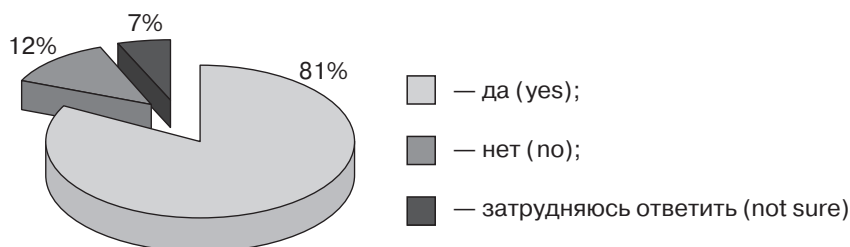
Street or avenue name (movement direction)	Number of vehicles	Maximum number of lanes
Tbilisskij prospekt (north / south)	48523 / 48814	6
Neftyanikov prospekt (east / west)	80812 / 52026	8
Uzeira Gadzhibekova street	62429	8
Zarify Alievoj street	48214	4
Bakikhanova street (east / west)	46499 / 39462	6
Nobelya passage (east / west)	37063 / 42000	8
Gejdara Alieva passage (east / west)	88731 / 89147	12
Baku — Sumgait highway (south-west / north-east)	84438 / 86538	6
Yusifa Safarova street (north / south)	66251 / 58237	10

На рисунке 1 представлен результат голосования, в котором приняло участие около 150 человек. Как видно из графика около 80% анкетированных высказалось за возвращения трамваев на улицы города. Еще больший процент (91%) бакинцев одобряют развитие инфраструктуры велосипедного сообщения в столице, 67% респондентов готовы пересесть со своих автомобилей на альтернативные виды транспорта.

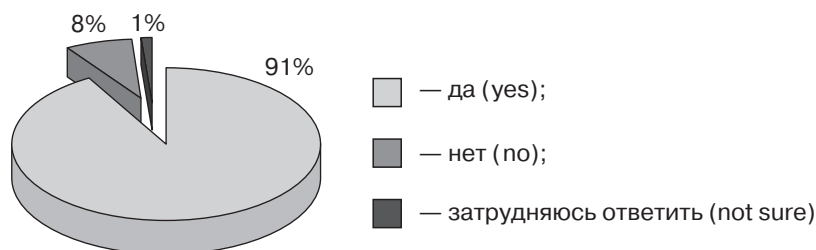
Обсуждения данной темы в СМИ позволили определить пожелания и опасения граждан по поводу развития данных способов мобильности. Одним из недостат-

ков развития экологически рациональных видов транспорта было отмечено сокращение количества полос движения автотранспорта за счет организации трамвайных линий и велодорожек. К опасениям организации велосипедных дорожек можно отнести вопрос соблюдения правил дорожного движения автомобилистами и пешеходами.

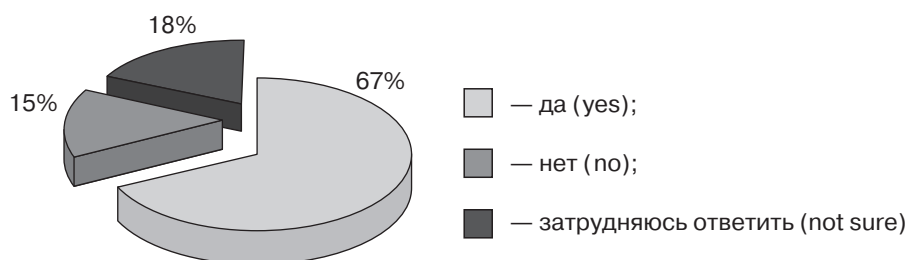
**Хотели бы возвращения трамвая на улицы города?  
(Would you like the tramway to return to city street?)**



**Одобрите ли Вы обустройство велодорожек в городе?  
(Do you endorse the construction of bicycle lanes in the city?)**



**Готовы ли Вы пересесть с личного автомобиля на трамвай/велосипед?  
(Are you ready to shift from your private vehicle to the tramway/bicycle?)**



**Рис. 1.** Опрос населения по развитию экологически чистых видов транспорта  
(**Fig. 1.** Survey of sustainable transportation modes development)

Обсуждение данной темы на веб-форуме позволили определить пожелания и опасения граждан по поводу развития данных способов мобильности. Одним из недостатков развития экологически рациональных видов транспорта было отмечено сокращение числа полос движения автотранспорта за счет организации трамвайных линий и велодорожек. К опасениям организации велосипедных дорожек можно отнести вопрос соблюдения правил дорожного движения автомо-



билистами и пешеходами. Потенциальных велосипедистов волнует тема хранения двухколесных транспортных средств при отсутствии специальных парковочных мест на территории жилых кварталов, а также соблюдение гигиенических требований при повседневном использовании велотранспорта в условиях жаркого и влажного климата столичного региона (относительная влажность воздуха в летние месяцы — около 60% при средней температуре в дневное время суток около 30 °С [1; 2]); северные ветра Абшеронского полуострова также могут вызывать дискомфорт при использовании велотранспорта в зимнее время (в холодные месяцы преобладает ССЗ направление ветров (20%), средняя скорость ветра — около 20 км/ч (5,6 м/с) [1–3]. Средняя температура в дневное время зимой составляет около 9 °С [2]).

Проблемы связанные с соблюдением правил движения возможно решить путем информирования граждан через СМИ и проведения просветительских работ в учебных заведениях, госучреждениях и в прочих организациях. Создание комфортной и безопасной инфраструктуры велосипедного движения не должно ограничиваться только обустройством велосипедных дорожек, но также может включать в себя организацию специальных парковочных участков вблизи различных учреждений и мест приложения труда (рис. 2), крытых площадок для хранения велотранспорта на территории кварталов селитебных зон, обустройство временных остановок для отдыха на протяженных пригородных маршрутах, мультимодальных пересадочных узлов, специально отведенных мест в ОТ для провоза велосипедов.



**Рис. 2.** Станция аренды велосипедов в г. Монпелье. Франция  
**(Fig. 2.** Bicycle renting station in Montpellier. France) [4]

Перечисленные меры позволили бы привлечь большее количество потенциальных велосипедистов к использованию экологически рациональных способов передвижения, и как следствие, улучшить экологию городской среды, повысить физическую активность горожан, увеличить объем розничной торговли вдоль транспортных линий, вблизи пересадочных узлов и остановочных станций [5].

Таблица 2

**SWOT анализ развития экологически рациональных способов мобильности**

<i>Сильные стороны:</i> улучшение экологии города; повышение здоровья граждан; повышение пропускной способности дорог	<i>Слабые стороны:</i> сокращение количества полос движения автомобильного транспорта в условиях невозможности расширения существующего дорожного полотна по причине плотной высотной застройки городских улиц; сложность использования велотранспорта в условиях высокой влажности в летние месяцы и ветреной погоды в зимний период
<i>Возможности:</i> дополнительные рабочие места; повышение объема розничной торговли вдоль транспортных линий, вблизи пересадочных узлов и остановочных станций	<i>Угрозы:</i> проблема обеспечения безопасности на дорогах при недостаточной информируемости граждан по соблюдению ПДД с использованием велосипедного и трамвайного сообщения

Table 2

**SWOT analysis of sustainable transportation modes development**

<i>Strong points:</i> improving the ecology of the city; improving the health of citizens; increase of road capacity	<i>Weak points:</i> a reduction in the number of lanes for road transport in conditions of impossibility of existing roadway expansion because of dense high-rise housing of city streets; the complexity of using cycling in conditions of high humidity in summer months and windy weather in the winter
<i>Opportunities:</i> additional jobs; retail trade increase along transport lines, near transfer stations and stop stations	<i>Threats:</i> the problem of guaranteeing safety on roads taking into account the insufficient awareness of citizens to keep up road regulations using bicycle and tram communications

**Оптимизация использования дорожного полотна при организации трамвайного сообщения.** Сокращение количества полос движения автомобильных дорог при организации линий трамвайного сообщения компенсируется рациональным использованием дорожного полотна, с точки зрения провозной способности. В таблице 3 представлены характеристики транспортных средств (ТС) различных производителей; площадь дорожного полотна, занимаемая одним пассажиром при полной загрузке транспортного средства.

Таблица 3

**Характеристики транспортных средств**

Транспортное средство	Габариты размеры ТС: длина×ширина, м	Занимаемая площадь дорожного полотна, м <sup>2</sup>	Общая вместимость ТС, пасс.	Отношение площадок количеству пассажиров при максимальной загрузке ТС, м <sup>2</sup>
Трамвай (Чехия)	32,6×2,5	81,5	230 (324)*	0,35 (0,25)*
Трамвай (Австрия)	31,1×2,7	84	208	0,4
Трамвай (Франция)	43,8×2,4	105,1	287 (395)**	0,37 (0,27)**
Автобус (Польша)	10,4×2,6	27	83	0,33
Автобус (Польша)	12×2,6	31,2	90	0,35
Автобус (Польша)	18×2,6	46,8	110	0,4
Автобус (Франция)	12×2,5	30	111	0,27
Автобус (Франция)	10,5×2,5	26,3	93	0,28
Микроавтобус (Россия)	6,1×2,2	13,4	19	0,7
Автомобиль	4,5×1,8	8,1	4	2

\* 5 чел./м<sup>2</sup> (8 чел./м<sup>2</sup>), \*\* 4 чел./м<sup>2</sup> (6 чел./м<sup>2</sup>).

Table 3

## Transport vehicle characteristics

Transport vehicle	Outer dimensions, m	Occupied roadway area, m <sup>2</sup>	Total capacity of the transport vehicle, pass.	Ratio of roadway area to maximum passengers number, m <sup>2</sup>
Tram (Czech Republic)	32,6×2,5	81,5	230 (324)*	0,35 (0,25)*
Tram (Austria)	31,1×2,7	84	208	0,4
Tram (France)	43,8×2,4	105,1	287 (395)**	0,37 (0,27)**
Bus (Poland)	10,4×2,6	27	83	0,33
Bus (Poland)	12×2,6	31,2	90	0,35
Bus (Poland)	18×2,6	46,8	110	0,4
Bus (France)	12×2,5	30	111	0,27
Bus (France)	10,5×2,5	26,3	93	0,28
Microbus (Russia)	6,1×2,2	13,4	19	0,7
Car	4,5×1,8	8,1	4	2

\* 5 persons per 1 m<sup>2</sup> (8 pers. на 1 m<sup>2</sup>), \*\* 4 persons на 1 m<sup>2</sup> (6 pers. на 1 m<sup>2</sup>).

Как видно из таблицы 3 площадь дорожного полотна для перевозки одного пассажира на трамвае сопоставима с перевозкой на автобусном транспорте. Маршрутное такси, несмотря на комфортные условия проезда, является менее экономичным видом транспорта с точки зрения использования территорий дорог по причине отсутствия стоячих мест. Самое неэффективное средство передвижения — легковой автомобиль, даже при полной загрузке площадь дорожного полотна используется в 5 раз менее эффективно, чем при передвижении на автобусе, либо трамвае.

Количество пассажиров, которое возможно перевезти за 1 ч из пункта отправки в пункт назначения с интервалом в 10 мин на городском трамвае более чем в 2 раза превышает данный показатель для моторизованного пассажирского транспорта при одинаковом значении отношения площади к количеству пассажиров при полной загрузке ТС.

**Выбросы парниковых газов различными видами транспорта.** Согласно данным Еврокомиссии объем выбросов углекислого газа автомобильным транспортом составляет 12% от общего объема атмосферного загрязнения CO<sub>2</sub> в Евросоюзе. Законодательство ЕС устанавливает обязательные целевые показатели сокращения выбросов парниковых газов для новых автомобилей. Это законодательство является краеугольным камнем стратегии ЕС по минимизации расхода автомобильного топлива. Аналогичные цели были поставлены для фургонов новых образцов. Согласно закону, показатель выброса CO<sub>2</sub> новых моделей микроавтобусов, зарегистрированных в ЕС, не должен превышать в среднем 175 г CO<sub>2</sub>/кмк 2017 г. Это на 3% меньше, чем в 2012 г. (180,2 г CO<sub>2</sub>/км). Относительно расхода топлива, целевой показатель соответствует примерно 6,6 л дизельного топлива/100 км. Однако уже в 2015 удалось достичь показателя в 168,3 г CO<sub>2</sub>/км. На 2020 г. целевой показатель составляет 147 г CO<sub>2</sub>/км, что на 19% меньше, чем за 2012 г. Этот показатель соответствует расходу примерно 5,5 л дизельного топлива/100 км.

Средний уровень выбросов диоксида углерода новыми моделями автомобилей, проданных в 2016 г., составил 118,1 г CO<sub>2</sub>/км (г CO<sub>2</sub>/км), что значительно ниже

целевого показателя 2015 г., принятого в 130 г. Цель 2015 г. соответствует расходу топлива равного около 5,6 л бензина/100 км или 4,9 л дизельного топлива/100 км.

К 2021 г. средний показатель выбросов CO<sub>2</sub> для новых легковых автомобилей, должен составлять 95 г CO<sub>2</sub>/км. Это означает, что расход топлива составит около 4,1 л бензина/100 км или 3,6 л дизельного топлива/100 км. Целевые показатели 2015 и 2021 гг. представляют собой сокращение на 18% и 40%, соответственно, по сравнению со средним показателем 2007 г. (158,7 г/км). Согласно мониторингу, проведенному в соответствии с действующим законодательством, объем выбросов сократился на 16% по сравнению с показателями 2010 г. [6].

В таблице 4 представлены объемы выбросов CO<sub>2</sub> различными видами транспорта, согласно данным отчета по выбросам парниковых газов, подготовленного правительством Соединенного Королевства (СК) в 2016 г [7].

Таблица 4

**Средние значения выбросов CO<sub>2</sub> транспортными средствами, работающих на дизельном топливе в СК**

Вид транспорта	Ед. измерения	Объем CO <sub>2</sub> , г
Автомобиль	км	181,2
Такси (Black cabin)	пассажир/км	217,6
Мотоцикл	км	117
Городской автобус	пассажир/км	101,1
Фургон (до 3,5 т)	км	263,9
ЛРТ (наземное метро, трамвай)	пассажир/км	53,3

Table 4

**Average CO<sub>2</sub> emissions from diesel vehicles in UK**

Mode of transport	Unit of measure	CO <sub>2</sub> emissions, g
Car	km	181,2
Taxi (Black cabin)	passengers/km	217,6
Motorcycle	км	117
City bus	passengers/km	101,1
Van (до 3,5 т)	km	263,9
LRT (surface underground, tram)	passengers/km	53,3

Согласно методологии расчета выбросов CO<sub>2</sub>, принятой Министерством по делам бизнеса, энергетики и промышленной стратегии Соединенного Королевства среднее значение показателя загруженности автобуса принято в 12,21; для лондонского такси — 1,5 (2,5 человека, включая водителя) [8].

Среднее значение показателя загруженности транспортного средства — среднее значения количества пассажиров, перевезенных на транспортном средстве из пункта отправки в пункт назначения. Данное значение влияет на среднегодовой показатель загруженности транспортных средств, увеличение которого благоприятно сказывается на экологии городской среды.

Коэффициент загруженности ТС в разных странах имеет различный показатель. В таблице 5 представлен коэффициент загруженности автомобиля в европейских странах за 2005 г. [9].

Таблица 5

**Коэффициент загрузки автомобиля в европейских странах за 2005 г.**

Коэффициент загрузки	Страны
1–1,5	Австрия, Германия, Дания, Голландия
>1,5–2	Соединенное Королевство, Швейцария, Норвегия, Испания, Италия, Чехия, Словакия, Венгрия (г. Будапешт)

Table 5

**Vehicle occupancy rate in European countries in 2005**

Occupancy rate	Countries
1–1,5	Austria, Germany, Denmark, Holland
>1,5–2	United Kingdom, Switzerland, Norway, Spain, Italy, Czech Republic, Slovakia, Hungary (Budapest)

Наибольшая загрузка автомобиля наблюдается в Будапеште — 1,92; наименьшая в Австрии — 1,2; середину рейтинга занимает Германия с показателем 1,5 пасс./км.

Транспортными департаментами стран мира ведется работа по увеличению показателя загрузки ТС. В таблице 6 представлены целевые показатели повышения коэффициента загрузки ТС в ЮАР до 2050 г.

Таблица 6

**Целевые показатели повышения коэффициента загрузки ТС в ЮАР до 2050 г.**

Вид транспорта	Полная загрузка, пасс.	Коэффициент загрузки (2006 г.)	Целевой показатель (до 2050 г.)
Автомобиль	4	1,4	2,4
Междугородный автобус / CAT	40	25,2	31,2
Микроавтобус	18	14	17,1
Наземное метро	321	32,1	128,4

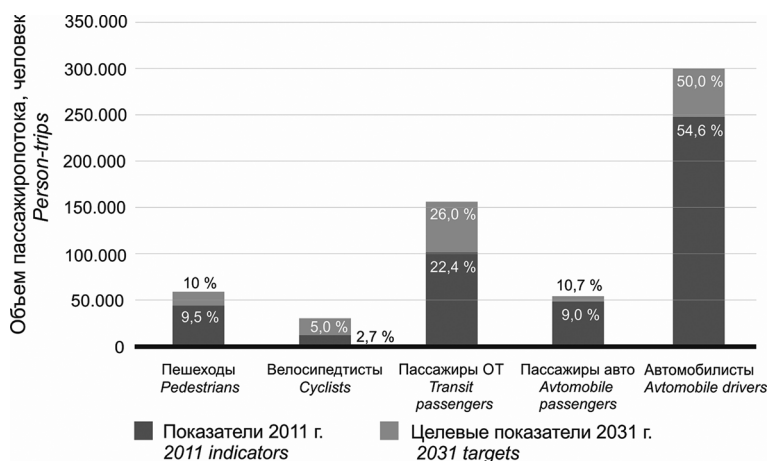
Table 6

**Vehicle occupancy target by 2050 in Republic of South Africa**

Mode of transport	Full loading, pass.	Vehicle occupancy rate (2006 г.)	Target occupancy rate (until 2050)
Car	4	1,4	2,4
Motorcoach / CAT	40	25,2	31,2
Microbus	18	14	17,1
Surface underground	321	32,1	128,4

Данная инициатива будет осуществляться в несколько этапов. На заключительной стадии предполагается достичь 60% загрузки автомобиля, 95% для микроавтобусов и 78% для скоростных междугородних автобусов [10].

Работа по экологизации городской среды за счет сокращения объема выбросов выхлопных газов путем модернизации автомобильных двигателей и топлива, увеличения коэффициента загрузки транспорта, а также переходу к экологически рациональным способам передвижения ведется также в США и Канаде. На рисунке 3 и в таблице 7 представлены целевые показатели передвижения граждан агломерации Оттавы (Канада) [11].



**Рис. 3.** Показатели изменения способов передвижения в агломерации Оттавы: данные за 2011 г. и цели в 2031 г. (утренний час-пик)

**(Fig. 3.** Mode Shares and Person-trip Volumes in Ottawa metropolitan area: 2011 Observations and 2031 Targets (morning peak period))

Таблица 7

**Показатели изменения способов передвижения в утренний час-пик в Оттаве**

Способ передвижения	Соотношение видов транспорта, %		Пассажиропоток (человеко-поездка), чел.		Рост, %
	2011 г.	2031 г.	2011 г.	2031 г.	
Пешеходный	9,5	10,0	43,200	60,100	39
Велосипедный	2,7	5,0	12,300	30,100	145
ОТ	22,4	26,0	101,900	156,300	53
Автомобильный	10,7	9,0	48,700	54,100	11
Автомобилист	54,6	50,0	248,400	300,500	21

Table 7

**Mode Shares and Person-trip Volumes targets in Ottawa**

Mode of travel	Modes of travel percentage ratio, %		Person-trip Volumes, passengers		Increase, %
	2011	2031	2011	2031	
Pedestrian	9,5	10,0	43,200	60,100	39%
Bicyclist	2,7	5,0	12,300	30,100	145%
Public transport	22,4	26,0	101,900	156,300	53%
Car passengers	10,7	9,0	48,700	54,100	11%
Automobilist	54,6	50,0	248,400	300,500	21%

Как видно из таблицы 7, к 2031 г. предполагается увеличить пассажиропоток передвижений на велотранспорте в 2,4 раза по сравнению с 2011 г. и в 1,5 раза — на ОТ.

В США развитию экологически рациональных способов передвижения уделяется особое внимание. Так, в концепции развития ТИ г. Боулдера заложена программа перехода на альтернативные способы мобильности и увеличения коэффициента загруженности транспорта [12]. Концепция также предусматривает создание и обеспечение технической поддержки безопасной и эффективной

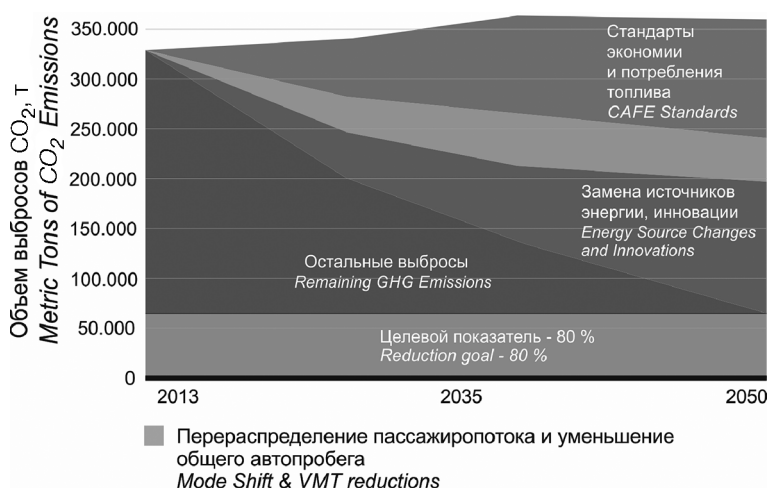
транспортной системы, которая предполагает достижение задач устойчивого развития города в целях перераспределения увеличивающегося количества поездок. Данная стратегия будет реализовываться путем предоставления большего выбора способов передвижения и уменьшения показателя передвижений на личном автомобиле без пассажиров. В рамках программы предполагается организация специальных полос движения для легкового транспорта с пассажирами (рис. 4).

Моделирование изменений в предпочтениях пользователей транспортной системы и исследования, проводимые в различных НП США, позволили разработать стратегии развития транспортного сектора, при которых возможно добиться от 20 до 40% уменьшения использования легковых автомобилей без пассажиров.



**Рис. 4.** Полоса движения для легкового транспорта с пассажирами в штате Вашингтон. США [13]  
(**Fig. 4.** High-occupancy vehicle lane in Washington State. USA)

Программа развития ТИ Боулдера предполагает 80%-ное уменьшение выбросов парниковых газов в атмосферу к 2050 г. за счет внедрения новых технологий в производство горючего, перераспределения пассажиропотока, использования экологически рациональных способов мобильности, ужесточения стандартов потребления и экономии углеродосодержащих видов топлива, перехода к альтернативным источникам энергии (рис. 5).



**Рис. 5.** Целевые показатели выброса объема CO<sub>2</sub> в атмосферу в агломерации Боулдера. США  
(**Fig. 5.** CO<sub>2</sub> emission targets in Boulder metropolitan area. USA)

Около 15% от общего объема снижения CO<sub>2</sub> приходится на перераспределение потока пассажиров и уменьшение общего автопробега на душу населения путем увеличения показателя загруженности транспортных средств, в том числе частных автомобилей.

**Скорости движения транспорта на дорогах.** Согласно данным European Rail Research Advisory Council (Европейский консультативный совет по исследованию железнодорожного транспорта) и International Association of Public Transport (Международная ассоциация общественного транспорта) за 2009 г. средняя рабочая скорость движения трамвая в странах Западной Европы составила 22,76 км/ч [14]. В таблице 8 представлены средние значения скоростей движения трамваев в европейских городах.

Таблица 8

Table 8

**Средние значения скоростей движения трамваев**

**Average tramway speeds**

Страны Евросоюза	Рабочая скорость движения трамвая, км/ч
Австрия	17,5
Бельгия	21
Франция	18
Германия	21,5
Греция	21
Ирландия	35
Италия	22,5
Нидерланды	20,5
Португалия	19
Испания	21
Швеция	23
Великобритания	33

EU countries	Working speed of tram, km/h
Austria	17,5
Belgium	21
France	18
Germany	21,5
Greece	21
Ireland	35
Italy	22,5
Netherlands	20,5
Portugal	19
Spain	21
Sweden	23
United Kingdom	33

Скорость движения трамвая может достигать 80 км/ч. Согласно СП 98.13330.2012 (Трамвайные и троллейбусные линии. Актуализированная редакция СНиП 2.05.09—90) расчетный режим, превышающий 24 км/ч, считается скоростным.

В таблице 9 представлены средние скорости движения транспортного потока по основным проспектам и городским магистралям столицы.

Таблица 9

Table 9

**Средние скорости движения транспортного потока по основным проспектам и городским магистралям г. Баку за 2014 г.**

**Average speed of traffic flow on main city roads in Baku over 2014**

Название улицы или проспекта (направление движения)	Средняя скорость, км/ч
Тбилисский проспект	46,8
ул. Узеира Гаджибекова	46,2
ул. Зарифы Алиевой	46,2
ул. Бакиханова	42,8
проспект Азадлыг	43,5
проспект Бюль-бюля	36,6
ул. 28 мая	43,1

Street or avenue name (movement direction)	Average speed, km/h
Tbilisskij prospekt	46,8
Uzeira Gadzhibekova street	46,2
Zarif Alievoj street	46,2
Bakikhanova street (east/west)	42,8
Azadlyg prospekt	43,5
Byul'-byulya prospekt	36,6
28th of May street	43,1



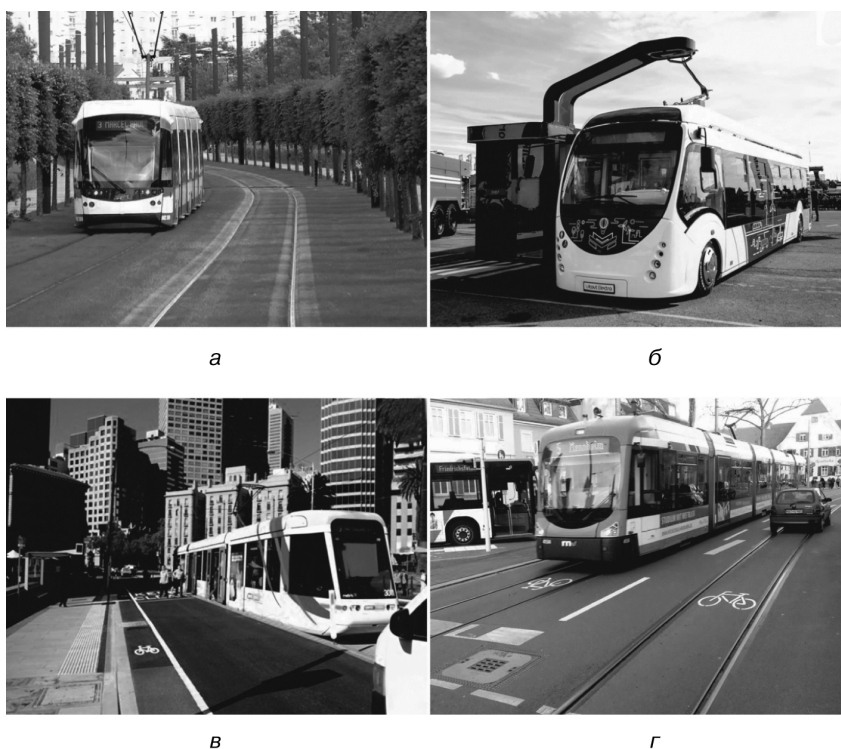
Средняя скорость потока на перечисленных направлениях составляет 43,6 км/ч.

**Примеры организации линий экологически чистых видов транспорта в странах мира. Франция.** В 1985 г. Нант стал первым городом Франции, в котором была организована современная трамвайная система. Маршруты трамваев проложены через широкие бульвары города, обеспечивая быструю и комфортную доставку пассажиров (рис. 6, а).

**Белоруссия.** В декабре 2016 г. состоялась первая тестовая поездка электробусов г. Минске. Автобус оснащен системой накопителей электроэнергии на базе суперконденсаторов. Данные накопители выполняют функцию рекуперации, что позволяет на 30—40% экономить энергию. Накопители автобусов заряжаются через контакт, расположенный на крыше павильона остановочной станции (рис. 6, б), запас хода составляет около 15 км. В 2017 г. осуществлена поставка 20 единиц в столицу Республики Беларусь.

**Австралия.** Организация остановки нового типа на станции Парламента в Мельбурне позволила оптимизировать доступ пассажиров и велосипедистов к трамваям (рис. 6, в).

**Германия.** В г. Мангейме организовано совместное использование велосипедных дорожек и трамвайных путей сообщения (рис. 6, г).



**Рис. 6.** Примеры организации инфраструктуры экологичных способов мобильности: а — зеленый коридор трамвайной линии в г. Нанте. Франция [15]; б — электробус в г. Минске. Белоруссия [16]; в — мультимодальная станция в Мельбурне. Австралия [17]; г — мультимодальные полосы движения в г. Мангейме. Германия [18]

**(Fig. 6.** Examples of sustainable modes of transport: а — green transportation corridor of tramway lane in Nantes. France; б — Cambridge-guided busway. England; в — multimodal station in Melbourne. Australia; г — multimodal traffic lanes in Mannheim. Germany)

*Марокко.* В декабре 2012 г. в самом густонаселенном городе Марокко — Касабланке была введена в эксплуатацию новая трамвайная система. На 2015 г. система состоит из одной Y-образной линии протяженностью 31 км (48 остановок). Бульвар им. Мухаммеда V был преобразован в трамвайно-пешеходную зону, придав новый облик данной транспортной артерии. Также были проведены работы по благоустройству и озеленению улицы (рис. 7).



**Рис. 7.** Преобразование бульвара им. Мухаммеда V в трамвайно-пешеходную зону в г. Касабланке. Марокко [19]: а — до реконструкции; б — после реконструкции  
(**Fig. 7.** Boulevard Mohammed V transformation to tramway-pedestrian zone in Casablanca. Morocco: а — before reconstruction; б — after reconstruction)

**Заключение.** Согласно проведенному опросу среди населения г. Баку, большинство респондентов высказалось за развитие экологически-рациональных способов мобильности: велосипедного и трамвайного сообщения. Также более половины анкетированных готовы пересесть со своих автомобилей на трамвай либо велосипед.

Обсуждения данной темы жителями города позволили определить пожелания и опасения граждан по использованию велосипедного транспорта.

Анализ данных ЦИУТ за 2014 г. выявил превышение нормативных показателей по среднесуточному объему транспорта на основных магистралях столицы. Скорости движения автотранспорта на дорогах также не соответствуют расчетным параметрам согласно СП 34.13330.2012.

Принимая во внимание пожелание граждан и автомобилистов, а также учитывая повышенный уровень автомобилизации в столичном регионе, развитие альтернативных экологичных видов транспорта (трамвая, электробуса) принимает особую актуальность. Также проведенный анализ показал эффективность использования трамвайного сообщения в отношении экономии площади городских дорог, а также провозной способности данного вида транспорта.

Исследования международного опыта по борьбе с выбросами выхлопных газов в атмосферу позволили определить степень значимости развития экологически чистых способов передвижения путем организации привлекательной инфраструктуры трамвайного и велосипедного движения, а также реализации мер по увеличению коэффициента загрузки личного и общественного транспорта.

Основываясь на исследовании средних скоростей движения трамвая в Европейских странах (2009 г.) к недостаткам организации трамвайного сообщения можно отнести относительно небольшую рабочую скорость движения трамвая,

которая в 2 раза меньше средней скорости движения автотранспорта по основным проспектам и магистралям столицы за 2014 г. Однако организация движения трамвая, при которой возможно достичь показателей нормативной скорости движения транспорта по дорогам городского и районного значения (40–80 км/ч), может повлечь за собой увеличение количества ДТП на дорогах. Также небольшая скорость движения трамваев компенсируется большей провозной способностью по сравнению с автобусным транспортом.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Average humidity in Baku // World Weather and Climate Information: интернет сайт. URL: <https://weather-and-climate.com/average-monthly-Humidity-perc,Baku,Azerbaijan> (дата обращения: 20.04.2017).
- [2] Погода в Баку // Погода для туристов мира. Прогнозы, статистика, анализ: интернет сайт о погоде курортов мира. URL: <https://pogoda.turtella.ru/Azerbaijan/Baku/monthly/> (дата обращения: 21.04.2017).
- [3] Wind & weather statistics. Baku Heydar Aliyev Airport // Windfinder: интернет сайт. URL: [https://www.windfinder.com/windstatistics/baku\\_heydar\\_aliyev\\_airport](https://www.windfinder.com/windstatistics/baku_heydar_aliyev_airport) (дата обращения: 22.04.2017).
- [4] Marc le Tourneur. The Tramway, aka LRT. An efficient, esthetic, durable mass transport resource for medium-sized cities // COTADU: сайт, посвященный городскому транспорту в странах мира. URL: <http://www.codatu.org/wp-content/uploads/Chili-MLT-20131.pdf> (дата обращения: 22.04.2017).
- [5] *Нарбеков М.Ф.* Комплексное благоустройство улиц и повышение безопасности на дорогах (опыт Канады и США) // *Безопасность в техносфере*. 2016. Т. 5. № 3. С. 34–40.
- [6] Reducing CO<sub>2</sub> emissions from passenger cars // Climate action. European Union: интернет сайт ЕС по проблемам изменения климата. URL: [https://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/cars\\_en](https://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/cars_en) (дата обращения: 23.04.2017).
- [7] Greenhouse gas reporting — Conversion factors. Research and analysis 2016 // Government of UK: интернет сайт правительства Соединенного Королевства. URL: <https://www.gov.uk/government/publications/greenhouse-gas-reporting-conversion-factors-2016> (дата обращения: 25.04.2017).
- [8] 2016 Government GHG Conversion Factors for Company Reporting: Methodology Paper for Emission Factors. London: Department for Business, Energy & Industrial Strategy, 2016. 113 p.
- [9] Occupancy rates of passenger vehicles: Indicator Assessment. Data and maps. Copenhagen: European Environment Agency, 2010. 11 p.
- [10] Passenger transport — increase in vehicle occupancy // South African government Department of Environmental Affairs: интернет сайт Министерства окружающей среды ЮАР. URL: [http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:bpEO4eyXGEYJ:sa2050pathways.environment.gov.za/assets/onepage/za\\_vehicle\\_occupancy.pdf+&cd=2&hl=ru&ct=clnk&gl=az](http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:bpEO4eyXGEYJ:sa2050pathways.environment.gov.za/assets/onepage/za_vehicle_occupancy.pdf+&cd=2&hl=ru&ct=clnk&gl=az) (дата обращения: 01.05.2017).
- [11] Transportation Master Plan: City services. Ottawa, 2013. 135 p.
- [12] Transportation Master Plan. City of Boulder. Boulder, 2014. 69 p.
- [13] Washington State HOV and Carpool Lane Ticket Lawyer // Law Office of Greg S., PLLC: интернетсайтюридическойфирмыБольшогоСиэтла. URL: <http://seattletrafficdefenselawfirm.com/hov-lane-violation-traffic-ticket-lawyer/> (дата обращения: 15.05.2017).
- [14] Metro, light rail and tram systems in Europe. Brussels: European Rail Research Advisory Council. International Association of Public Transport, 2009. 44 p.
- [15] Rose Trigg. Why the best place to work in France right now is... Nantes // The Local: информационный сайт. URL: <https://www.thelocal.fr/20170201/why-nantes-is-the-best-place-to-work-in-france-right-now> (дата обращения: 17.05.2017).

- [16] Электробусы // Белкоммунмаш: официальный сайт холдинга. URL: <https://bkm.by/catalog/elektrobus/> (дата обращения: 17.05.2017).
- [17] Macarthur Street easy access stop opens // YarraTrams: сайт компании-оператора трамвайной системы. URL: <http://www.yarratrams.com.au/media-centre/news/articles/2012/macarthur-street-easy-access-stop-opens/> (дата обращения: 18.05.2017).
- [18] Christopher Clark Kent // Reddit: социальный информационный сайт. URL: [https://www.reddit.com/r/bicycling/comments/63h26a/mannheim\\_in\\_germany\\_got\\_new\\_bike\\_lanes\\_yay/](https://www.reddit.com/r/bicycling/comments/63h26a/mannheim_in_germany_got_new_bike_lanes_yay/) (дата обращения: 18.05.2017).
- [19] Бернар Гонне, Alstom Transport. Влияние ЛРТ на социально-экономическое развитие городов // MYSHARED.RU: хостинг презентаций. URL: <http://www.myshared.ru/slide/668735/> (дата обращения: 18.05.2017).

© Нарбеков М.Ф., 2017

#### История статьи:

Дата поступления в редакцию: 23.05.2017

Дата принятия в печати: 28.08.2017

#### Для цитирования:

Нарбеков М.Ф. Обоснование организации инфраструктуры экологичных видов транспорта в г. Баку и Бакинской агломерации // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности.* 2017. Т. 25. № 3. С. 335—352. DOI 10.22363/2313-2310-2017-25-3-335-352

#### Сведения об авторе:

Нарбеков Марат Фаридович — аспирант кафедры градостроительства и планировки сельских населенных мест Казанского архитектурно-строительного университета. E-mail: narbekov.m.f@gmail.com

## **SUBSTANTIATION OF SUSTAINABLE TRANSPORT INFRASTRUCTURE ENGINEERING IN BAKU AND BAKU AGGLOMERATION**

**M.F. Narbekov**

Kazan State University of Architecture and Engineering  
Zelenaya str., 1, Kazan, Republic of Tatarstan, Russia, 420043

*Research object* — transport infrastructure of Baku and Baku agglomeration (BA). *Research subject* — environment-related modes of transportation in Baku and BA, world practices of ecofriendly mobility choices. *Research target* — form the rationale for tramway and bicycle network development across Baku from ecological point of view. *Research methods and methodology* — sociological survey, mathematical methods, cartographical and climatic analysis, SWOT analysis, description. *Data base* — data of Intelligent Transport Management Center, survey data on popular websites, normative legal base and statistics reports of foreign government agencies. *Results and approbation* — results of research could be used for strategy realisation focused on development of sustainable transportation options across BA. *Projected suggestions* — initial phase of tramway network (TN) development in Baku intended to construct tramway line along Baku sea-front. Ongoing project works of railways connecting Baku with

Heydar Aliyev International Airport and touristic centers Shakhdag and Gabala will be set in operation in the future.

**Key words:** tramway network, light rail transport, cycling, urban ecology, sustainable mobility choices, vehicle occupancy, efficient roadway usage, carrying capacity of public transport

## REFERENCES

- [1] Average humidity in Baku // World Weather and Climate Information: интернет сайт. URL: <https://weather-and-climate.com/average-monthly-Humidity-perc,Baku,Azerbaijan> (date of access: 20.04.2017).
- [2] Pogoda v Baku // Pogoda dlya turistov mira. Prognozy, statistika, analiz: website about weather of world resorts. URL: <https://pogoda.turtella.ru/Azerbaijan/Baku/monthly/> (date of access: 21.04.2017).
- [3] Wind & weather statistics. Baku Heydar Aliyev Airport // Windfinder: website. URL: [https://www.windfinder.com/windstatistics/baku\\_heydar\\_aliyev\\_airport](https://www.windfinder.com/windstatistics/baku_heydar_aliyev_airport) (date of access: 22.04.2017).
- [4] Marc le Tourneur. The Tramway, aka LRT. An efficient, esthetic, durable mass transport resource for medium-sized cities // COTADU: website about urban mobility in the developing world. URL: <http://www.codatu.org/wp-content/uploads/Chili-MLT-20131.pdf> (date of access: 22.04.2017).
- [5] Narbekov M.F. Complete Street Maintenance and Road Safety Improvement (Canada and USA Practices). *Bezopasnost' v tekhnosfere*. 2016. Vol. 5. I. 3. P. 34–40.
- [6] Reducing CO2 emissions from passenger cars // Climate action. European Union: official website. URL: [https://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/cars\\_en](https://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/cars_en) (date of access: 23.04.2017).
- [7] Greenhouse gas reporting — Conversion factors. Research and analysis 2016 // Government of UK: official website. URL: <https://www.gov.uk/government/publications/greenhouse-gas-reporting-conversion-factors-2016> (date of access: 25.04.2017).
- [8] 2016 Government GHG Conversion Factors for Company Reporting: Methodology Paper for Emission Factors. London: Department for Business, Energy & Industrial Strategy, 2016. 113 p.
- [9] Occupancy rates of passenger vehicles: Indicator Assessment. Data and maps. Copenhagen: European Environment Agency, 2010. 11 p.
- [10] Passenger transport — increase in vehicle occupancy // South African government Department of Environmental Affairs: official website. URL: [http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:bpEO4eyXGEYJ:sa2050pathways.environment.gov.za/assets/onepage/za\\_vehicle\\_occupancy.pdf+&cd=2&hl=ru&ct=clnk&gl=az](http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:bpEO4eyXGEYJ:sa2050pathways.environment.gov.za/assets/onepage/za_vehicle_occupancy.pdf+&cd=2&hl=ru&ct=clnk&gl=az) (date of access: 01.05.2017).
- [11] Transportation Master Plan: City services. Ottawa, 2013. 135 p.
- [12] Transportation Master Plan. City of Boulder. Boulder, 2014. 69 p.
- [13] Washington State HOV and Carpool Lane Ticket Lawyer // Law Office of Greg S., PLLC: official website. URL: <http://seattletrafficedefenselawfirm.com/hov-lane-violation-traffic-ticket-lawyer/> (date of access: 15.05.2017).
- [14] Metro, light rail and tram systems in Europe. Brussels: European Rail Research Advisory Council. International Association of Public Transport, 2009. 44 p.
- [15] Rose Trigg. Why the best place to work in France right now is... Nantes // The Local: Internet news site. URL: <https://www.thelocal.fr/20170201/why-nantes-is-the-best-place-to-work-in-france-right-now> (date of access: 17.05.2017).
- [16] Electrobuses // Belkommunmash: official website of “Belkommunmash” holding // URL: <https://bkm.by/catalog/elektrobusy/> (date of access: 17.05.2017).
- [17] Macarthur Street easy access stop opens // Yarra Trams: website of rail transport operator. URL: <http://www.yarratrams.com.au/media-centre/news/articles/2012/macarthur-street-easy-access-stop-opens/> (date of access: 18.05.2017).
- [18] Christopher Clark Kent // Reddit: social news aggregation, web content rating, and discussion website. URL: [https://www.reddit.com/r/bicycling/comments/63h26a/mannheim\\_in\\_germany\\_got\\_new\\_bike\\_lanes\\_yay/](https://www.reddit.com/r/bicycling/comments/63h26a/mannheim_in_germany_got_new_bike_lanes_yay/) (date of access: 18.05.2017).

- [19] Bernard Gonner, Alstom Transport. Vliyanie LRT nasotsial'no-ekonomicheskoe razvitie gorodov // MYSHARED.RU: presentations hosting. URL: <http://www.myshared.ru/slide/668735/> (date of access: 18.05.2017).

**Article history:**

Received: 23.05.2017

Revised: 28.08.2017

**For citation:**

**Narbekov M.F. (2017) Substination of sustainable transport infrastructure engineering in Baku and Baku agglomeration. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*, 25 (3), 335—352. DOI 10.22363/2313-2310-2017-25-3-335-352**

**Bio Note:**

*Narbekov Marat Faridovich* — postgraduate student of the chair of urban planning and planning of rural settlements of the Kazan Architecture and Construction University. E-mail: [narbekov.m.f@gmail.com](mailto:narbekov.m.f@gmail.com)



DOI 10.22363/2313-2310-2017-25-3-353-365

УДК 504.06

## СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА СИСТЕМЫ ОБРАЩЕНИЯ С ТВЕРДЫМИ КОММУНАЛЬНЫМИ ОТХОДАМИ В БЕЛАРУСИ, РОССИИ И КАЗАХСТАНЕ

А.Ю. Скриган, И.В. Шилова, И.С. Мельникова, А.В. Щур

Белорусско-Российский университет

*пр. Мира, 43, о. 239, Могилев, Республика Беларусь, 212000*

Проблема управления коммунальными отходами является одной из актуальных проблем экологического менеджмента в странах с различным уровнем социально-экономического развития. Цель исследования — анализ систем обращения с твердыми коммунальными отходами (ТКО) в Беларуси, России и Казахстане с использованием методического подхода ViPRO. Общие проблемы Казахстана, России и Беларуси следующие: отсутствие запрета, закрепленного в нормативных документах, на размещение ТКО на полигонах; большое количество био-разлагаемых отходов, поступающих на полигоны; неполный охват системой сбора отходов населения страны; недостаточное развитие сектора по переработке отходов; отсутствие системы прогнозирования и планирования сферы обращения с ТКО. Результат оценки для всех трех стран сопоставим с результатами стран ЕС, вошедших в группу с наиболее низкими показателями системы обращения с ТКО — Латвии, Кипра, Румынии, Литвы, Мальты, Болгарии и Греции. Совершенствование систем обращения с отходами в анализируемых странах должно быть связано с совершенствованием нормативно-правового регулирования, тарифной политики, действующих институтов, сферы их полномочий и ответственности.

**Ключевые слова:** твердые коммунальные отходы, эффективность системы обращения с отходами

**Введение.** Проблема управления коммунальными отходами является одной из актуальных проблем экологического менеджмента в странах с различным уровнем социально-экономического развития. Постоянный рост потребления товаров и услуг сопровождается увеличением образования отходов по всему миру. Стратегическими целями обращения с отходами становятся переработка, минимизация или предотвращение образования отходов. Особую озабоченность вызывает управление обращением ТКО в населенных пунктах, что связано как с качеством предоставления услуг по сбору, удалению и переработке отходов, так и с институциональными инструментами управления сектором обращения с такими отходами. Наиболее остро проблема обращения с ТКО стоит в развивающихся странах и странах с переходной экономикой, что связано с недостаточностью или несовершенством политических и экономических инструментов управления ТКО.

За прошедшую четверть века постсоветские государства создали собственные системы и институциональные механизмы регулирования обращения с ТКО. Имея в своей основе советский методологический базис, характеристики сферы

обращения с отходами в каждой из стран, тем не менее, к настоящему времени значительно отличаются. Цель настоящего исследования состоит в поиске ответов на вопросы: насколько эффективными оказались выбранные стратегии и изменения в секторе обращения с ТКО в постсоветских государствах? Насколько успешно удалось реализовать государственные стратегии и программы? Насколько сильно отличаются сложившиеся системы в постсоветских странах от систем управления отходами в странах Европейского союза (ЕС)?

В качестве объекта исследования выбраны системы обращения с ТКО в странах-членах ЕврАзЭС: Беларусь, Россия и Казахстан. Основные особенности обращения с ТКО в анализируемых странах такие: преимущественное захоронение отходов на полигонах, формирование тарифов на сбор и удаление отходов исходя из нормативов их образования на душу населения, значительный износ оборудования для сбора и удаления отходов, недостаточное количество перерабатывающих предприятий, замусоривание городских экосистем отходами различного происхождения, развитие неформального и нелегального сектора сбора и переработки вторичных материальных ресурсов (ВМР).

**Материалы и методы.** Исследование базируется на методологии ViPRO. Методология оценки системы обращения с отходами ViPRO была разработана в рамках проекта «Поддержка стран-членов ЕС в деле совершенствования системы обращения с отходами на основе ее оценки» [1]. Целью проекта была помощь Еврокомиссии в практической реализации выводов «Доклада о тематической стратегии по предотвращению и переработке отходов» и совершенствованию практики управления отходами в странах ЕС. Объектом оценки были выбраны ТКО, так как обращение с этим видом отходов имеет наибольшие пробелы управления и дефициты реализации между провозглашенными стратегическими целями и реальной ситуацией [1].

Методология оценки ViPRO подробно изложена в работе [1]. Список критериев оценки в данной методике составлен на основе двух общеевропейских документов, регулирующих обращение с отходами: Директиве о полигонах [2] и Рабочих рамок по управлению отходами [3]. Разработчики методики разделили все показатели (перечислены в таблице далее) на пять групп:

- 1) реальная ситуация с соблюдением иерархии обращения с отходами;
- 2) существование и применение экономических инструментов для поддержки управления отходами в соответствии с иерархией отходов;
- 3) наличие и качество соответствующей сети перерабатывающих предприятий, планирование управлением обращения с ТКО;
- 4) выполнение целевых показателей для исключения захоронения на полигонах биоразлагаемых отходов;
- 5) количество судебных дел или нарушений, касающихся несоблюдения законодательства ЕС об отходах.

Для целей данного исследования пятая группа показателей не оценивалась, а итоговые оценки стран ЕС, представленные в работе [1], в целях сравнения были пересчитаны без учета баллов пятой группы. Исходными данными для оценки системы обращения с ТКО в Беларуси, России и Казахстане стали доступные статистические сведения, нормативно-правовые документы, изданные аналити-



ческие обзоры, отчеты и научные публикации. Физическое значение каждого из критериев переводилось в баллы (0, 1 или 2) в зависимости от значения показателя. Пороговые значения баллов для перевода фактических значений были приняты такими же, как и в работе [1] и описаны в таблице с результатами оценки.

Таблица

**Оценка системы обращения с ТКО в России, Казахстане и Беларуси**

Индикатор	Критерии оценки	Беларусь	Россия	Казахстан
<b>1. Реальная ситуация с соблюдением иерархии обращения с отходами</b>				
1.1. Зависимость между образованием ТКО и уровнем потребления домовладений	Уменьшение образования отходов — 2 баллов, рост образования отходов более медленными темпами, чем рост потребления — 1 балл, рост образования отходов, сопоставимый с ростом потребления — 0 баллов	1	0	1
1.2. Наличие утвержденных национальных программ в сфере обращения с ТКО либо релевантных экологических программ	В случае наличия программ — 2 балла, при отсутствии — 0 баллов	2	2	0
1.3. Количество перерабатываемых ТКО (все формы переработки, включая компостирование)	Доля перерабатываемых ТКО: более 39% — 2 балла, 19—39% — 1 балл, менее 19% — 0 баллов	1	0	0
1.4. Количество ТКО, используемых для получения тепловой или электрической энергии	Доля ТКО, используемых для производства энергии: более 17% — 2 балла, 1—16% — 1 балл, менее 1% — 0 баллов	1	1	0
1.5. Количество ТКО, захораниваемых на полигоне или сжигаемых без получения энергии	Доля захораниваемых ТКО: менее 49,5% — 2 балла, 49,5—75% — 1 балл, более 75% — 0 баллов	0	0	0
1.6. Развитие переработки ТКО (все формы переработки, включая компостирование)	Темпы развития сектора переработки ТКО: 5% в год и более — 2 балла, более 0, но менее 5% в год — 1 балл, 0% или сокращение сектора переработки — 0 баллов	2	1	1
<b>2. Существование и применение экономических инструментов для поддержки управления отходами в соответствии с иерархией отходов</b>				
2.1. Наличие общенационального запрета /ограничения для захоронения ТКО на полигонах	Наличие запрета — 2 балла, ограничений — 1 балл, отсутствие ограничений и запретов — 0 баллов	1	1	1
2.2. Типичная плата за захоронение ТКО на полигонах	Стоимость захоронения 1 т ТКО: менее 35 евро — 0 баллов, 36—100 евро — 1 балл, более 100 евро — 2 балла	0	0	0
2.3. Наличие системы «плата за реальное количество выброшенных отходов»	Наличие системы: на всей территории страны — 2 балла, на части территории страны — 1 балл, отсутствие системы — 0 баллов	0	0	0
<b>3. Наличие и качество соответствующей сети перерабатывающих предприятий и планирование управлением обращения с ТКО</b>				
3.1. Охват населения системой сбора ТКО	100% охват системой сбора ТКО всего населения страны: да — 2 балла, нет — 0 баллов	0	0	0

Окончание таблицы

Индикатор	Критерии оценки	Беларусь	Россия	Казахстан
3.2. Доступная мощность перерабатывающих предприятий (включая захоронение и сжигание)	Достаточная мощность переработки — 2 балла, недостаточная — 1 балл, в случае отсутствия данных — 0 баллов	1	0	0
3.3. Прогнозирование образования ТКО и мощностей по их переработке	Прогнозируется потенциал переработки: достаточный — 2 балла, недостаточный — 1 балл, отсутствие прогнозов или информации — 0 баллов	0	1	1
3.4. Наличие и качество планирования образования ТКО и их переработки в интегрированных планах управления отходами	Включение прогнозных оценок образования и переработки ТКО в интегрированных планы управления отходами: да, высокого качества — 2 балла, да — 1 балл, нет — 0 баллов	1	1	1
3.5. Соответствие существующих полигонов для неопасных отходов требованиям Директиве о полигонах	Доля полигонов, соответствующих требованиям Директивы [2]: 100% — 2 балла, как минимум 75% — 1 балл, менее 75% — 0 баллов	1	0	0
<b>4. Выполнение целевых показателей для исключения захоронения на полигонах биоразлагаемых отходов</b>				
4.1. Достижение целей Директивы о полигонах в отношении захораниваемых биоразлагаемых ТКО	Сокращение захоронения биоразлагаемых отходов на полигонах как минимум на 75% — 2 балла, менее 75% — 0 баллов	0	0	0
4.2. Доля биоразлагаемых ТКО, захораниваемых на полигонах	Доля захораниваемых биоразлагаемых ТКО: менее 40% — 2 балла, 40—75% — 1 балл, более 75% и отсутствие информации — 0 баллов	0	0	0
Итого		11	6	5

Table

**The results of the assessment of the municipal solid waste management system in Belarus, Russia and Kazakhstan**

Indicator	Way of calculation	Belarus	Russia	Kazakhstan
<b>1. Compliance with the waste management hierarchy reflecting the real situation</b>				
Criterion 1.1. Level of decoupling of municipal waste generation from household final consumption expenditure	Reducing of Waste generation — 2, increasing of consumption is slower, than waste generation — 1, waste generation is equal to increasing of consumption — 0	1	0	1
Criterion 1.2. Existence of own waste prevention programme (WPP) or equivalent existence in WMP or other (environmental) programmes	Does a waste prevention programme exist? Does an equivalent exist in WMP or other (environmental) programmes? YES: 2 / NO: 0	2	2	0
Criterion 1.3. Amount of municipal waste recycled (material recycling and other forms of recycling including composting)	How much municipal waste is recycled in a particular year (in %)? >39% — 2, 19—39% — 1, <19% — 0	1	0	0
Criterion 1.4. Amount of municipal waste recovered (energy recovery)	How much municipal waste is recovered (energy recovery) in a particular year (in %)? >17% — 2, 1—16% — 1, <0% — 0	1	1	0

Continued table

Indicator	Wayofcalculation	Belarus	Russia	Kazakhstan
Criterion 1.5. Amount of municipal waste disposed (deposit onto or into land and incinerated without energy recovery)	How much municipal waste was disposed of (deposit onto or into land and incinerated without energy recovery in a particular year in %)? < 49,5% — 2, 49,5—75% — 1, >75% — 0	0	0	0
Criterion 1.6. Development of municipal waste recycling (material recycling and other forms of recycling including composting)	What was the development of recycling of municipal waste during the last three years (in %)? Recycling rate increased min. 5% or total rate is min. 40% over the last three years — 2 Recycling rate increased over the last three years, but increasing rate is below 5% — 1 Rate of recycling is decreasing or zero in last three years — 0	2	1	1
<b>2. Existence and application of legal and economic instruments to support waste management according to the waste hierarchy</b>				
Criterion 2.1. Existence of nationwide ban/restrictions for the disposal of municipal waste into landfills	Is a ban /are restrictions for the disposal of municipal waste applied? YES: 2 / Restrictions: 1 / NO: 0	1	1	1
Criterion 2.2. Total typical charge for the disposal of municipal waste in a landfill	How much is charged for landfilling municipal waste (€/t)? < 35 — 0, 36—100 — 1, > 100 — 2	0	0	0
Criterion 2.3. Existence of pay-as-you-throw (PAYT) systems for municipal waste	Is a PAYT system for municipal waste in place? Yes, covering the whole territory: 2 /Yes, not covering all municipalities: 1 / No: 0	0	0	0
<b>3. Existence and quality of an adequate network of treatment facilities and future planning for municipal waste management</b>				
Criterion 3.1. Collection coverage for municipal waste	Does 100% collection coverage exist? No: 0 / Yes: 2. In case no information is available in the consulted reference document, a score of 0 applies.	0	0	0
Criterion 3.2. Available treatment capacity for municipal waste in line with the EU waste legislation (including disposal and incineration)	Is information about capacity available? / Does an undercapacity exist? Undercapacity: No: 2 /Yes: 0 In case no information is available in the reference documents, a score of 0 applies.	1	0	0
Criterion 3.3. Forecast of municipal waste generation and treatment capacity in the WMP	Is undercapacity to be expected according to information contained in the WMP? No: 2 / Yes: 0 In case no information is available in the WMP, a score of 0 applies.	0	1	1
Criterion 3.4. Existence and quality of projection of municipal waste generation and treatment in the WMP	Is information on the future development of municipal waste generation and treatment in the territory included in the WMP? Yes, in high quality: 2 /Yes: 1 / No: 0	1	1	1

End table

Indicator	Wayofcalculation	Belarus	Russia	Kazakhstan
Criterion 3.5. Compliance of existing landfills for non-hazardous waste with the Landfill Directive	Which percentage of landfills for non-hazardous waste is compliant with the requirements of the Landfill Directive [2] (in %)? 100% — 2, atleast 75% — 1, below 75% — 0	1	0	0
<b>4. Fulfilment of the targets for diversion of biodegradable municipal waste from landfills</b>				
Criterion 4.1. Fulfilment of the targets of the Landfill Directive related to biodegradable municipal waste going to landfills	Is the first target on reducing biodegradable municipal waste disposed of in landfill reduced to at least 75% fulfilled? Yes: 2 / No: 0	0	0	0
Criterion 4.2. Rate of biodegradable municipal waste going to landfills	Rate of biodegradable municipal waste going to landfills: less 40% — 2, 40—75% — 1, more 75% or the lack of data — 0	0	0	0
Overall score		11	6	5

**Обращение с ТКО в Беларуси, России и Казахстане** (см. табл.). В упомянутых странах наблюдается рост образования отходов на фоне повышения уровня потребления домохозяйствами товаров и услуг. Количество отходов на душу населения в каждой из стран приближается к уровню стран ЕС (более 400 кг/чел.). Общей проблемой Беларуси, России и Казахстана является невозможность осуществления точных оценок суммарного образуемого количества ТКО вследствие особенностей ведения статистического учета: учитывается только количество собранных и удаленных отходов в системе ЖКХ, что не соответствует общему количеству образованных ТКО (так как не все образованные отходы попадают в систему обращения). Проблема опережающего роста образования отходов над потреблением характерна и для стран ЕС, включая лидеров по обращению с ТКО, что служит отражением «философии потребления» западной цивилизации. Только в таких странах как Австрия, Нидерланды, Дания и Люксембург рост ТКО — единственный индикатор, равный нулю, на фоне значительного прогресса по всем остальным направлениям совершенствования системы обращения с отходами [1].

В Беларуси и России утверждены национальные программы, нормативные и регулирующие документы, направленные на совершенствование системы обращения с отходами [4; 5]. Действие Национальной программы модернизации системы управления твердыми бытовыми отходами в Казахстане [6] было отменено в сентябре 2016 г. Следует отметить, что наличие национальных стратегий по обращению с ТКО одно из преимуществ России и Беларуси, так как более половины членов ЕС (17 государств) не имеют национальных документов, регулирующих обращение с отходами, и руководствуются общеевропейскими директивами в отношении управления полигонами и менеджмента отходов. В тоже время, как отмечено в докладе [1], наличие нормативных и регулирующих документов, разработанной государственной политики в сфере обращения с отходами отнюдь не гарантирует существование эффективной системы управления

ТКО, вследствие пробелов управления и дефицитов реализации национальных документов, что ярко проявляется в анализируемых странах — утвержденные национальные программы по обращению с отходами в Беларуси и России не смогли коренным образом изменить ситуацию с обращением с ТКО.

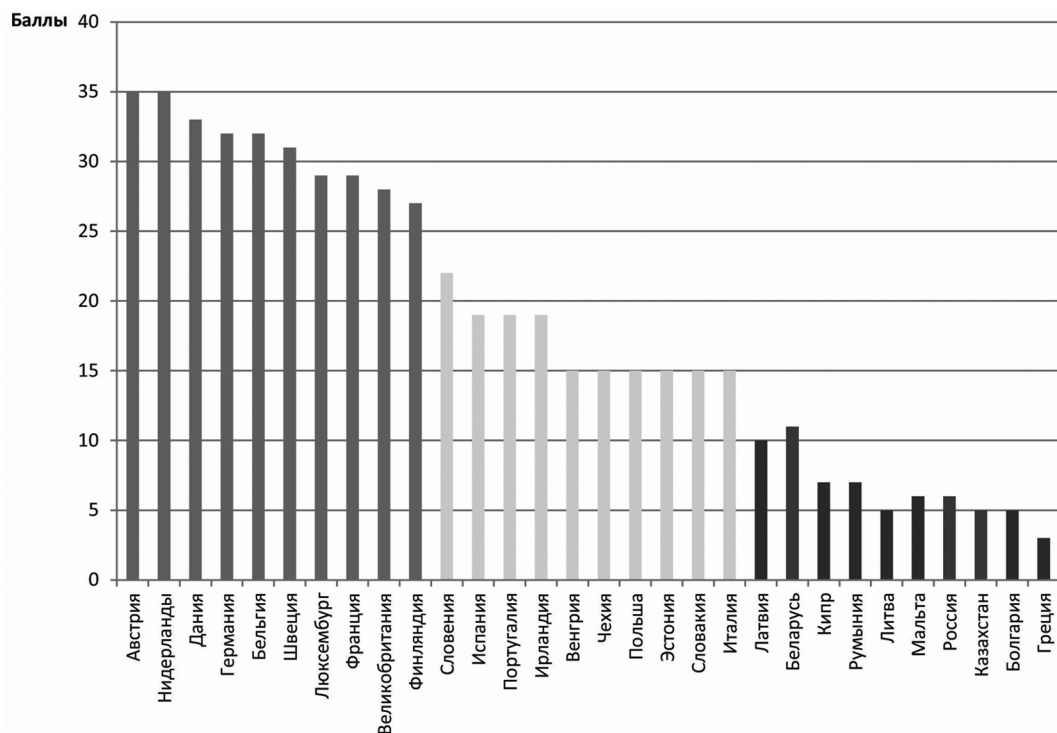
В анализируемых странах большая часть образуемых отходов захоранивается на полигонах — более 90% в Казахстане, около 90% в России и около 85% — в Беларуси. Уровень переработки отходов (с учетом ВМР, которые не являются ТКО и учитываются отдельно) в России и Казахстане составляет менее 10%, в Беларуси — около 20%. В Беларуси и России имеется несколько мусоросжигающих заводов по производству энергии, но их мощности недостаточно, чтобы играть заметную роль в переработке ТКО. Казахстан в настоящее время только планирует строительство подобных предприятий. В трех странах мощности сектора по переработке отходов недостаточны, а номенклатура перерабатываемых ресурсов не отличается разнообразием. В России и Казахстане предприятия сектора по переработке отходов, как правило, частные; в Беларуси подавляющее большинство таких предприятий — государственные. Для сектора переработки всех трех стран характерны одинаковые проблемы: высокая стоимость получаемых продуктов при относительно низком их качестве, низкое качество исходного сырья для переработки вследствие либо отсутствия, либо неэффективной сортировки ТКО, преобладание ручного труда, к которому привлекаются маргинальные группы населения, конкуренция с нелегальным сектором переработки отходов. Несмотря на перечисленные негативные факторы, сектор переработки отходов развивается во всех трех странах. Темпы роста сектора переработки отходов особенно впечатляющи в Беларуси, где за последние 5 лет мощности перерабатывающих отходов предприятий увеличились практически на 20%, которые можно объяснить применением административного ресурса к сбору и переработке отходов.

Биоразлагаемые отходы не являются приоритетом политики обращения с ТКО ни в одной из трех стран. Их образование, захоронение или переработка не контролируется. Более того, отсутствует законодательно закрепленное определение таких отходов. Отсутствие достоверной статистической информации по данному виду отходов в трех странах определило нулевые значения индикаторов четвертой группы. Абсолютное большинство таких отходов поступает на полигоны во всех трех странах. Содержание биоразлагаемых отходов варьирует от мест их образования: их количество больше в многоэтажной застройке и практически отсутствует в частных подворьях и сельской местности, где образуемые в домохозяйствах органические отходы используются либо для домашнего компостирования, либо сжигаются в печах. Следует отметить, что в СССР существовала система сбора пищевых отходов в многоэтажной застройке, которые затем поступали на животноводческие комплексы для откорма животных. После распада СССР система прекратила свое существование по причинам санитарно-гигиенической безопасности и изменения рациона содержания животных. Возрождение такой системы в модернизированной и адаптированной к современным условиям форме могло бы значительно усовершенствовать систему обращения с ТКО в анализируемых странах, увеличив ее эффективность до среднеевропейского уровня.

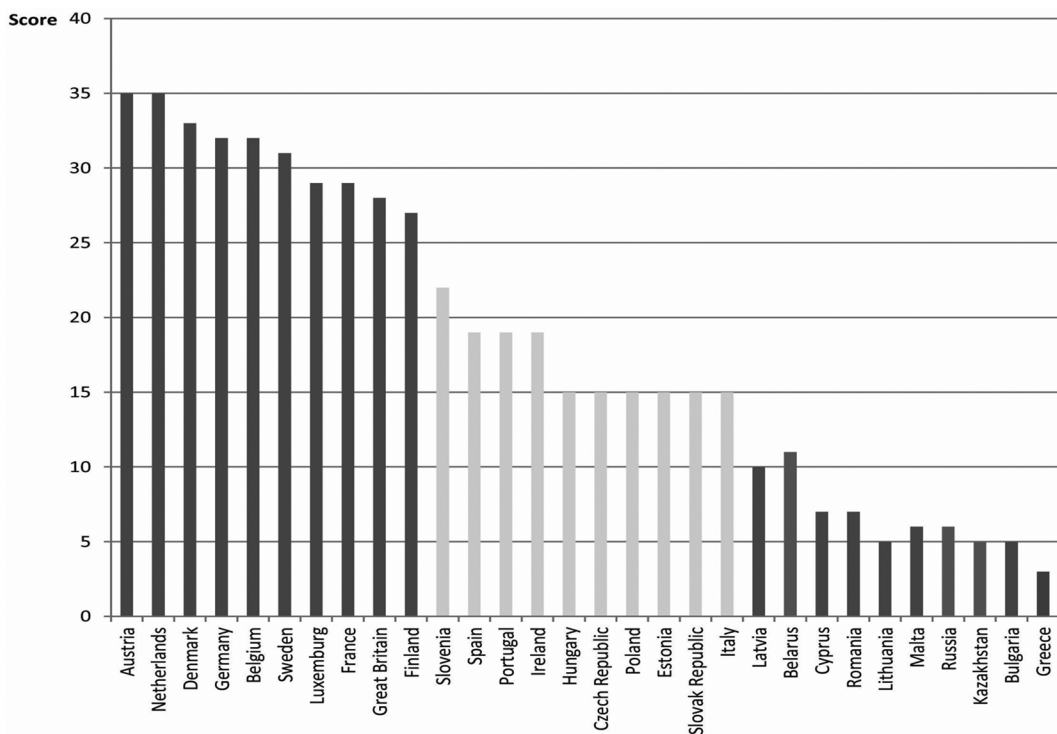
Экономические инструменты регулирования обращения с ТКО в Казахстане, России и Беларуси развиты недостаточно: в странах нет запрета на размещение отходов на полигонах (только ограничения на захоронение некоторых видов отходов и ВМР), а плата за такое размещение очень низкая (по сравнению со странами ЕС) и во всех трех странах значительно меньше 35 евро/т. Существующая система тарифов не стимулирует население сокращать образование отходов, а предприятия — организовывать их переработку. Ни в одной из анализируемых стран не действует система оплаты за произведенное количество мусора в рамках отдельных административных единиц или всей страны в целом. В Беларуси на национальном уровне внедрена система раздельного сбора ТКО в местах их образования, однако ее эффективность чрезвычайно низка: доля раздельно собранных отходов в среднем составляет 4,5%. Тарифная политика во всех трех странах сохраняет советские черты и основана на нормативе образования отходов на душу населения и тарифов на услуги ЖКХ. Увеличение стоимости сбора и удаления отходов производится, как правило, за счет искусственного увеличения душевого норматива образования отходов, так как тарифы ЖКХ социально чувствительный компонент, и их рост регламентируется государством. Другими словами, внедрение системы оплаты исходя из реально образованного количества отходов, невыгодно обслуживающим предприятиям в условиях сохранения тарифной политики.

Слабым элементом системы обращения с отходами во всех трех странах является также прогнозирование и планирование сектора. Как уже было отмечено, потенциал предприятий по переработке отходов в анализируемых странах недостаточный, в тоже время нет стратегических планов по его наращиванию, так как сколько-нибудь достоверные оценки и прогнозы количества образуемых отходов различного вида, экономически целесообразного извлечения полезных компонентов и производства продуктов либо отсутствуют (как в Беларуси, где показатели программ определяются исходя из увеличения индикаторов предыдущих планов), либо охватывают только сегмент рынка переработки, ставший объектом изучения консалтинговых групп (как в России и Казахстане). Существующие стратегии, программы и планы, конечно же, включают элементы планирования и прогнозирования, однако их степень проработки недостаточна. В анализируемых странах интегрированные планы обращения с ТКО на местном уровне либо отсутствуют, либо не обязательны к применению, и вследствие распределения полномочий по обращению с отходами между различными агентствами и заинтересованными сторонами, можно утверждать, что комплексное адаптированное управление обращением с ТКО на местном уровне во всех странах неэффективно.

В Беларуси, России и Казахстане отсутствует 100%-ный охват системой сбора ТКО всего населения; многие полигоны для захоронения ТКО не соответствуют современным природоохранным требованиям или не имеют всех необходимых документов для своего функционирования. Современные действующие регулирующие документы в сфере проектирования, строительства и эксплуатации полигонов ТКО, а также практика их правоприменения во всех трех странах значительно отличаются от Директивы ЕС [2], а по ряду требований нормативное регулирование нельзя сравнить или сопоставить с европейским, вследствие чего, оценка данного критерия оказалась низкой для анализируемых стран.



**Рисунок.** Сравнительная оценка системы обращения с ТКО в европейских странах



**Figure.** Comparative assessment of the municipal solid waste management system in European countries

Итоговая оценка системы обращения с ТКО для России, Казахстана и Беларуси (рисунок) показывает, что результат для всех трех стран сопоставим с результатами стран ЕС, вошедших в третью группу с наиболее низкими показателями системы обращения с ТКО — Латвии, Кипра, Румынии, Литвы, Мальты, Болгарии и Греции.

Анализ проблем обращения с ТКО в этих странах, приведенный в работе [1], позволяет сделать вывод, что низкая итоговая оценка в странах ЕС третьей группы обусловлена теми же причинами, что и в Беларуси, России и Казахстане. Для всех упомянутых стран общие черты системы обращения с ТКО, снижающими ее эффективность, следующие: слабая политика, особенно в отношении запрета на захоронение отходов на полигонах и регулирования переработки биоразлагаемых отходов; недостаточно развитые экономические инструменты для стимулирования сокращения образования отходов и их переработки; недостаточный потенциал сектора по переработке отходов; неполный охват населения системой сбора и удаления отходов; пробелы управления и дефициты реализации политики по обращению с ТКО на местном уровне.

Итоговая оценка для Беларуси, России и Казахстана могла иметь более высокие значения, чем для группы европейских аутсайдеров, при условии наличия соответствующей статистической информации в сопоставимой для анализа форме. Изменение статистического учета ТКО можно рассматривать как меру повышения эффективности работы сектора. В государствах в течение постсоветского периода менялось как законодательство, так и формы статистического учета отходов, что не всегда было удачным. Так, в России отказались от понятия «ТКО», отдав предпочтение термину «отходы потребления». В этой формулировке статистическая информация по коммунальным отходам оказывается либо недоступной, либо крайне обобщенной и недостаточной. Еще более затруднительно найти и обобщить информацию по переработке ВМР, так как статистические данные не разделяют количество ВМР, извлеченных из ТКО и ВМР, извлеченных из производственных отходов.

**Выводы.** Система обращения с ТКО в Беларуси, России и Казахстане имеет невысокую эффективность, уровень которой сопоставим со странами ЕС третьей группы — Латвией, Кипром, Румынией, Литвой, Мальтой, Болгарией и Грецией. Существенные недостатки системы обращения с ТКО анализируемых стран такие: недостаточно нормативно-правовое регулирование (запрет на захоронение ТКО на полигонах, требования к обращению с биоразлагаемыми отходами, система прогнозирования и планирования сектора, статистического учета ТКО, тарифная политика); недостаток мощностей по переработке отходов и отсутствие эффективных экономических инструментов, стимулирующих сокращение образования и переработку ТКО.

В течение постсоветского периода в Беларуси, России и Казахстане были разработаны собственные национальные документы и стратегии по обращению с ТКО, но, в целом, система сохраняет ряд особенностей (оплата услуг, организация сбора, удаления и переработки, техническое нормирование), заложенные в советское время. Ряд инструментов и практик утрачены (система сбора ВМР, сбор пищевых отходов и др.). Формирование институциональных механизмов в новых



социально-экономических и политических условиях еще не закончено, о чем свидетельствуют пробелы управления и дефициты реализации политики в сфере обращения с ТКО.

Совершенствование систем обращения с отходами в анализируемых странах должно быть направлено на законодательное закрепление запрета на захоронение коммунальных отходов на полигонах, создание системы раздельного сбора отходов, в первую очередь, биоразлагаемых, вторичных, опасных и электронных, установление экономических и финансовых механизмов, поддерживающих сектор переработки отходов и стимулирующих население к снижению их образования. Действующие стратегические документы в сфере обращения с отходами в упомянутых странах должны быть проанализированы в целях выявления пробелов управления и дефицитов реализации политики. Результаты анализа послужат основой совершенствования как экологической политики в сфере обращения с отходами, так и сектора обращения с ТКО.

Методика ViPRO основана на целях и нормативных документах ЕС, и очевидно, не совпадает с целями и нормативными документами в сфере обращения с ТКО проанализированных стран. Тем не менее, проведенный анализ продемонстрировал возможности методического подхода ViPRO для выявления слабых мест управления сектором обращения с ТКО для его последующего совершенствования, равно как возможности для сравнения и сопоставления с другими странами с разными социально-экономическими условиями и институциональной организацией сектора.

#### **Финансирование:**

Статья подготовлена в рамках проекта, финансируемого ОАeD, WaTRA «Обращение с отходами в переходной экономике», рег. номер 1/16/000806 от 04.07.2016.

#### **Участие авторов:**

И.В. Шилова, И.С. Мельникова, А.В. Щур — сбор и обработка материалов, анализ полученных данных;

А.Ю. Скриган — концепция и дизайн исследования, анализ данных, написание текста.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

- [1] BiPRO: Screening of waste management performance of EU Member States. Report submitted under the EC project “Support to Member States in improving waste management based on assessment of Member States’ performance”. Report prepared for the European Commission, DG ENV, July 2012. 49 p.
- [2] Council Directive 1999/31/EC of 26 April 1999 on the landfill of waste. URL: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:31999L0031> (дата обращения: 19.04.2017).
- [3] Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives. URL: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32008L0098> (дата обращения: 19.04.2017).
- [4] Концепция обращения с коммунальными отходами и вторичными материальными ресурсами, утвержденная приказом Министерства жилищно-коммунального хозяйства Республики Беларусь от 07.07.2014 № 78.
- [5] Комплексная стратегия по обращению с ТКО в Российской Федерации, утвержденная Приказом Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 14.08.2013 № 298.

- [6] Программа модернизации системы управления твердыми бытовыми отходами на 2014—2050 годы, утвержденная Постановлением Правительства Республики Казахстан от 09.06.2014 № 634.

© Скриган А.Ю., Шилова И.В., Мельникова И.С., Щур А.В., 2017

**История статьи:**

Дата поступления в редакцию: 26.04.2017

Дата принятия в печати: 28.08.2017

**Для цитирования:**

Скриган А.Ю., Шилова И.В., Мельникова И.С., Щур А.В. Сравнительная оценка системы обращения с твердыми коммунальными отходами в Беларуси, России и Казахстане // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности.* 2017. Т. 25. № 3. С. 353—365. DOI 10.22363/2313-2310-2017-25-3-353-365

**Сведения об авторах:**

*Скриган Анна Юрьевна* — кандидат географических наук, доцент кафедры «Безопасность жизнедеятельности» Белорусско-Российского университета. E-mail: skrigan\_anna@tut.by

*Шилова Ирина Владимировна* — кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Безопасность жизнедеятельности» Белорусско-Российского университета. E-mail: irina.schilova@tut.by

*Мельникова Ирина Сергеевна* — старший преподаватель кафедры «Автомобильные дороги» Белорусско-Российского университета. E-mail: rin\_m@mail.ru

*Щур Александр Васильевич* — доктор биологических наук, заведующий кафедрой «Безопасность жизнедеятельности» Белорусско-Российского университета. E-mail: shchur@yandex.ru

## **COMPARATIVE ASSESSMENT OF MUNICIPAL SOLID WASTE MANAGEMENT SYSTEM IN BELARUS, RUSSIA AND KAZAKHSTAN**

**A.Yu. Skryhan, I.V. Shilova, I.S. Melnikava, A.V. Shchur**

State institution of higher professional education “Belarusian-Russian University”  
*Mira Ave., 43, office 239, Mogilev, Republic Belarus, 212000*

Issue of the municipal solid waste management is a very urgent problem of the environmental governance in the countries with different level of economic and social development. The aim of the current research is an assessment of the municipal solid waste management systems in Belarus, Russia and Kazakhstan based on the BiPRO approach. The common problems of Kazakhstan, Russia and Belarus are the absence of the ban for landfilling fixed in the normative documents; landfilling as a main way of the waste treatment; the significant amount of the biodegradable waste located at the dumps; incomplete coverage of population by formal system of the waste collection; underdeveloped

capacity of recycling plants; the lack of effective forecasting and planning work in the waste management sphere. The result of the assessment is comparable with the results for countries EU from the third group with the lowest scores for the waste management system — Latvia, Cyprus, Romania, Lithuania, Malta, Bulgaria and Greece. The improvement of the waste management systems in the analysed countries should be associated with improving legislation, tariff policy, current institutions, their rights and responsibilities.

**Key words:** municipal solid waste, efficiency of waste management system

## REFERENCES

- [1] BiPRO: Screening of waste management performance of EU Member States. Report submitted under the EC project “Support to Member States in improving waste management based on assessment of Member States’ performance”. Report prepared for the European Commission, DG ENV, July 2012. 49 p.
- [2] Council Directive 1999/31/EC of 26 April 1999 on the landfill of waste. Available at: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:31999L0031>
- [3] Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives. Available at: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32008L0098>
- [4] Concept on management of solid municipal waste and secondary raw materials, approved by the Order of the Ministry of housing utilities of the Republic of Belarus № 78 from 07.07.2014.
- [5] Integrated strategy on municipal solid waste management in Russian Federation, approved by the Order of the Ministry of natural resources and environment of Russian Federation № 298 from 14.08.2013.
- [6] Program of modernization of the municipal solid waste management system for 2014–2050, approved by the Decree of the Government of the Republic of Kazakhstan № 634 from 09.06.2014.

### Article history:

Received: 26.04.2017

Revised: 28.08.2017

### For citation:

Skryhan A.Yu., Shilova I.V., Melnikava I.S., Shchur A.V. (2017) Comparative assessment of municipal solid waste management system in Belarus, Russia and Kazakhstan. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*, 25 (3), 353–365. DOI 10.22363/2313-2310-2017-25-3-353-365

### Bio Note:

*Skryhan Anna Yurievna* — candidate of geographical sciences, associate professor of the department “Life safety” of the State institution of higher professional education “Belarusian-Russian University”. E-mail: [skrgan\\_anna@tut.by](mailto:skrgan_anna@tut.by)

*Shilova Irina Vladimirovna* — candidate of technical sciences, senior lecturer of the department “Life safety” of the State institution of higher professional education “Belarusian-Russian University”. E-mail: [irina.schilova@tut.by](mailto:irina.schilova@tut.by)

*Melnikova Irina Sergeevna* — the senior teacher of the department “Motor highways” of the State institution of higher professional education “Belarusian-Russian University”. E-mail: [rin\\_m@mail.ru](mailto:rin_m@mail.ru)

*Shchur Alexander Vasilievich* — Doctor of Biological Sciences, Head of the Department “Life Safety” of the State institution of higher professional education “Belarusian-Russian University”. E-mail: [shchur@yandex.ru](mailto:shchur@yandex.ru)



DOI 10.22363/2313-2310-2017-25-3-366-379

УДК 502.64

## МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЛИМНОГЕННЫХ УГЛЕВОДОРОДОВ И ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ, СВЯЗАННЫЕ С ИХ ГЕНЕЗИСОМ

А.А. Рассказов<sup>1</sup>, Е.С. Горбатов<sup>2</sup>, Е.Ю. Васильева<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Экологический факультет

Российский университет дружбы народов

Подольское ш., 8/5, Москва, Россия, 115093

<sup>2</sup> Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН

Б. Грузинская, 10, стр. 1, Москва, Россия, 123242

В статье показано, что залежи углеводородов, связанные с ископаемыми озерными комплексами, представляют собой отдельную генетическую группу осадочных месторождений, отличающуюся по комплексу геологических, геохимических и геоэкологических признаков. Рассмотрены механизмы накопления нефтематеринских пород в озерных бассейнах разного гидрологического типа — сточных, сбалансированных и бессточных. Установлено, что нефти озерного генезиса по сравнению жидкими углеводородами морского генезиса имеют более качественный состав и физико-химические свойства, однако их добыча требует дополнительных экономических и экологических издержек из-за сложных геологических условий залегания.

**Ключевые слова:** месторождения нефти и газа, озерный литогенез, осадочные бассейны, рифтовые озера, геоэкологические проблемы

Долгое время осадочному веществу озерного (лимногенного) происхождения и его роли в континентальном литогенезе и формировании месторождений полезных ископаемых не уделялось должного внимания, но сегодня именно с ним связывают образование широкого спектра полезных ископаемых, некоторые из которых практически не формируются в иных фациальных обстановках. Связанные с лимногенными толщами залежи полезных ископаемых имеют важное ресурсное значение; они содержат, кроме месторождений строительного сырья (пески, глины, известняки), эвапориты, угли, горючие сланцы, цеолиты, бораты, служат источниками и резервуарами нефти и газа. Наряду с неметаллическими полезными ископаемыми в озерных структурах накапливаются железомарганцевые, медные руды и бокситы [2; 4; 5].

Активному изучению роли озерных обстановок в формировании осадочных формаций и связанных с ними месторождений полезных ископаемых во многом способствовало становление в последние десятилетия лимногеологии в качестве самостоятельного геологического направления [4; 12].

Меньшие объемы, изолированность континентальных водоемов друг от друга и их эфемерность по сравнению с морскими бассейнами, делают озера системами, чувствительными к изменению внешних условий, отличающимися больши-

ми вариациями динамических режимов, химизма вод и экологических условий, отражающимися в широком разнообразии литологического состава осадков [9]. Кроме того, в озерных бассейнах сильнее, чем в морских бассейнах, выражена связь между водным уровнем и пространственным распределением литологических типов осадков, определяющая активность эрозионных процессов на водосборе, крупность сносимых с него обломочных осадков и физико-химические условия среды осадконакопления. Эти особенности способствуют появлению в осадочных формациях разнообразных фациальных ассоциаций и стилей их стратиграфического напластования. Они же определяют, с одной стороны, высокую степень гетерогенности лимногенных полезных ископаемых по составу и условиям залегания, с другой стороны, — указывают на высокую информативность озерных комплексов в качестве индикаторов обстановок формирования многих видов полезных ископаемых [5; 6]. Однако упомянутое разнообразие режимов накопления озерных отложений требуют особой осторожности при их расшифровке и прогнозировании, и подчеркивает важность мультидисциплинарного подхода при изучении осадочных образований озерного генезиса.

Вполне закономерно, что перечисленные особенности накопления озерных комплексов проявляются и при формировании месторождений углеводородов (УВ). Нужно также отметить, что скорость аккумуляции органического углерода в озерных системах в виде сапропелевых илов превосходит аналогичный показатель для морских осадочных бассейнов.

Нефтегазовые месторождения, связанные с озерным веществом, обеспечивают по некоторым оценкам до 20% мировой добычи углеводородов, что показывает их высокую экономическую значимость [8]. Разведка новых месторождений УВ, особенно на глубоких стратиграфических уровнях платформ и континентальных окраин, показывает, что доля лимногенных структур в потенциальных мировых запасах УВ со временем будет только возрастать. Месторождения углеводородов озерного генезиса широко представлены во внутриконтинентальных осадочных бассейнах Африки, Китая, Монголии, Юго-Восточной Азии, в пределах пассивных окраин континентов, в том числе на шельфе Южной Америки, Африки, Северного моря.

Задача работы — выявить связь между условиями формирования, геологическими особенностями месторождений УВ озерного генезиса, особенностями их геохимии и специфическими геоэкологическими проблемами, связанные с разработкой их промышленных скоплений.

### **Условия формирования нефтематеринских пород озерного генезиса и физико-химические особенности их углеводородов**

Отличительной особенностью процесса формирования месторождений нефти и газа является образование углеводородных флюидов в продуктивных (нефтематеринских) осадочных толщах с последующей миграцией в проницаемые породы — коллекторы. Поэтому физико-химические свойства УВ, влияющие на геоэкологические особенности их добычи и переработки, связаны не столько с составом вмещающих пластов, сколько с особенностями нефтематеринских отложений.

Таблица

**Сравнительная характеристика генетических типов материнских пород и продуцируемых ими углеводородов по данным работы [7], с дополнениями**

Происхождение материнских пород	Генезис ОВ	Физико-химические особенности УВ (на разных катагенетических стадиях)	Особенности термического созревания УВ	Типы месторождений (по стадиям катагенеза)
Морские (прибрежно-морские и дельтовые)	Кероген типа II, сапропелевое рассеянное ОВ	≤ 4% парафина и сернистость ≥0,4—0,5%	Основная генерация нефти происходит в начале мезока-тагенеза	Н→НГК→ГК→УВГ
Озерные	Кероген типа I, III, гумусово-сапропелевое ОВ	≤ 4% парафина и сернистость <0,4%	Такие же	Н→НГК→ГКН→ГК→УВГ
Континентальное (аллювиально-болотные фации)	Кероген типа III, гумусовое ОВ	≥5—6% парафина и <0,3% серы, большое газообразование	Более широкий диапазон генерации, сдвинутый в сторону более высоких температур	УВГ→ГК→ГКН→ГК→УВГ

*Примечание.* I тип — кероген сапропелевого происхождения богатый липидами клеточных мембран низших водорослей, с высоким содержанием водорода (Н/С индекс) и низким кислородом, преобладают алифатические структуры; кероген этого типа характерен для континентальных горючих сланцев; II тип — сапропелевый кероген, содержание водорода достаточно высокое, но меньше, чем в I типе, содержание кислорода более высокое; кероген формируется вследствие отложения и накопления морских организмов (фито- и зоопланктон, бактерии) в восстановительных условиях; это кероген основной массы нефтематеринских морских толщ; III тип — кероген гумусового происхождения, связанный с наземными или литоральными высшими растениями. Бедный водородом, содержит преимущественно конденсированные полиароматические и кислородосодержащие функциональные группы, он образовался в основном из остатков наземной растительности, это кероген главным образом газоматеринских пород. Типы месторождений: Н — нефтяные; ГК — газоконденсатные; ГН — газоконденсатнонефтяные; НГК — газоконденсатные; УВГ — газовые скопления.

Table

**Comparative characteristics of genetic types of sour rocks and hydrocarbons produced by them, according to [7] with additions**

Origin of sour rocks	Genesis of organic matter	Physicochemical features of hydrocarbons (at different catagenetic stages)
Marine (littoral and delta)	Kerogen type II, sapropelic dispersed organic matter	≤ 4% paraffin and sulfur ≥0.4—0.5%
lacustrine	Kerogen type I, III, humus-sapropelic organic matter	≤ 4% paraffin and sulfur <0.4%
Continental (fluvial-marsh facies)	Kerogen type III, humic organic matter	≥5—6% paraffin and <0.3% sulfur, large gas formation

В основном нефтегенное органическое вещество в виде донных илов накапливается на озерной профундали, где снижена скорость обломочного осадконакопления, отсутствуют волновые движения и замедлены процессы окисления органических илов. Оптимальным для формирования богатых нефтематеринских пород (с высоким валовым содержанием органического углерода) служит сочетание следующих условий: высокая биологическая продуктивность, низкая скорость деструкции ранее отложенного органического вещества и небольшое поступление терригенного материала, разбавляющего органогенные осадки [8; 13]. Для достижения оптимального сочетания данных условий, озеро должно обладать обширной, хорошо аэрированной литоралью и большой фотической зоной для обеспечения высокой первичной продукции фитопланктона; иметь интенсивное поступление биогенных элементов, необходимых для роста фитопланктона; быть стратифицировано для создания аноксических условий в зоне гипolimниона, необходимых для сохранения органического вещества; иметь низкий уровень терригенной и хемогенной седиментации.

Условия озерного осадконакопления влияют в первую очередь на состав нефтематеринских пород и геохимические особенности продуктов их катагенеза — углеводородных флюидов. Основными параметрами материнских пород, влияющими на качество нефти, являются: валовое содержание органики, водородный индекс, содержание серы.

Для выделения специфических особенностей нефтегазоматеринских пород озерного происхождения, прежде всего, необходимо провести их сравнение с другими наиболее распространенными генетическими типами материнских пород — морскими и аллювиально-болотными (таблица).

Проведенное в таблице сопоставление показывает, что отличительной особенностью органического вещества озерного генезиса служит относительно высокое содержание планктоногенного (сапропелевого) вещества I типа, способного продуцировать качественные углеводороды с высоким содержанием водорода. При этом озерное сапропелевое вещество отличается от типично морского (II тип) большей долей фитопланктонной по сравнению с бентосной составляющей, что обуславливает преобладание в составе углеводородов *n*-алканов, низкое содержание ароматических соединений, большой индекс *H/C*.

По физико-химическим параметрам для нефтей озерного генезиса, как и для «морских» характерна относительно низкая парафинистость, но от последних их отличает преимущественно низкое содержание серы, за исключением относительно редких органических фаций, связанных с неморскими сульфатными эвапоритами.

На основании многочисленных эмпирических наблюдений разновозрастных озерных формаций от кембрия до голоцена, было выделено три наиболее распространенных фациальных ассоциации с характерным комплексом нефте- и газопродуцирующей органики (геохимическими фациями), соответствующих трем гидрологическим типам озерных бассейнов [8; 10; 11]. Рассматриваемая модель американских геологов-нефтяников подчеркивает, что в контроле состава углеводородных продуктов решающее значение имеет не столько региональные палеоклиматические условия, сколько гидрологического статус бассейна осад-

конакопления, зависящий от местных топографических и гидрогеологических условий, во многом определяемых тектоническим фактором. Согласно данной модели, можно выделить три геохимических фации органической компоненты материнских пород: сапропелево-гумусовую, сапропелевую, сапропелевую гиперсолоную.

Каждая ассоциация фаций имеют характерное соотношение водорослевой и терригенной органики I и III типов, определенный нефтегенерирующий потенциал, термические режим и сроки созревания нефти, соотношение жидкой и газообразной компонент УВ.

**Основные характеристики гидрологических типов озерных бассейнов.** Согласно упомянутой модели, разработанной для типизации нефтематеринских пород озерного генезиса, озерные бассейны бывают следующих типов.

*Переполненные (гидрологически открытые) бассейны.* Это пресноводные, хорошо аэрированные озера гумидных областей, в которых скорость поступления терригенных осадков с водосбора превышает аккомодационное пространство котловины, доступное для размещения осадков. Типовой разрез осадочных комплексов такого типа связан с циклами проградации речных дельт на озера и представлен озерно-аллювиальными фациями, включающими известковые аргиллиты, алевролиты, переходящие вверх по разрезу в дельтовые и аллювиальные песчаники с включениями углей. Интенсивный речной снос терригенного материала и наземного гумусового ОВ в озера обуславливает низкое валовое содержание органического углерода в битуминозных аргиллитах ( $C_{орг}$  — до в пределах 0,5—7%) и заметную примесь газогенного керагена III, аналогичного по составу углистым сланцам.

Из материнских пород озерно-аллювиального генезиса генерируются не только нефть, но и заметное количество газа и газового конденсата. Водородный индекс пород от низкого до умеренного — 50—600 мг НС/г  $C_{орг}$ . Нефть парафинистая с большим содержанием высокомолекулярных n-алканов (парафинов более 20%), по плотности — от средних до легких значений, с низким содержанием серы. Парафинистые разновидности нефти, связанные с аллювиально-озерными породами, характерны для бассейна центральной части Суматры, севера Китая, центральных африканских рифтовых бассейнов и др.

*Сбалансированные бассейны.* Представляют собой солоноватоводные, щелочные, часто стратифицированные озера с подвижной береговой линией и непостоянным стоком, в которых скорость поступления терригенных осадков с водосбора приблизительно соответствует аккомодационному пространству котловины. Флуктуации уровня озер с кратковременными проградациями дельт на акватории определяет широкое развитие в их осадочных комплексах фаций профундали, представленных обогащенными водорослевой органикой (планктонной и бентосной) тонкослоистыми аргиллитами, известняками и доломитами. В составе органической компоненты осадков преобладает автохтонный водорослевый материал (I тип), а поступление наземной органики носит эпизодический характер. Основные нефтематеринские породы — слоистые аргиллиты, в наибольшей степени обогащенные органикой, накапливаются на аноксических профундалях. Валовое содержание органики в материнских породах сбалансированных бассейнов



нов, как правило, высокое ( $C_{\text{орг}}$  до в пределах 20—27%) из-за низкого терригенного разбавления. Водородный индекс также высокий: 500—800 мг/г НС/г  $C_{\text{орг}}$  в среднем, иногда до 1000. Нефть среднепарафинистая (парафинов 5—25%), по плотности — от тяжелой до легкой, с низким содержанием серы.

*Бессточные (гидрологически закрытые) эвапоритовые бассейны.* Представляя собой соленые постоянные или эфемерные (плайеовые) озера, занимающие бессточные ванны, в которых объем размещения осадков превышает скорость их поступления. Наиболее обогащенные органикой сублиторальные субфации накапливаются на более глубоководных (трансгрессивных) стадиях развития озер и представлены битуминозными аргиллитами, сопряженными в разрезах по латерали с эвапоритовым, карбонатными и обломочными осадками, являющимися коллекторами для УВ при последующих катогенетических преобразованиях лимногенных комплексов. Озерные осадки, как правило, переслаиваются в разрезах с эоловыми и пролювиально-делювиальными отложениями. Основной источник ОВ — не только эукариотические продуценты (водоросли), преобладающие в других типах озерных фаций, но и прокариотические организмы (бактерии, синезеленые водоросли), более толерантные к экстремально высокой солености палеоозер.

Нефтегенерирующий потенциал материнских пород эвапоритовых бассейнов переменный (от низкого до высокого), поскольку, хотя их продуктивность достаточно высока и терригенное разбавление минимально, но способность к консервации органики в таких озерах низкая из-за периодического высыхания и окисления донных осадков. Для гиперсоленых озерных фаций характерны керогены типа I-S, отличающиеся высоким содержанием (до 12%) органической серы и низкой температурой генерации нефти за счет присутствия в составе УВ слабых S—C связей, обеспечивающей образование нефти на более ранних стадиях катагенеза. Образование сераорганических соединений происходит, по всей видимости, биогеохимическим путем на стадии диагенеза при взаимодействии сульфатных растворов с сапропелевым веществом.

В целом для материнских пород, связанных с эвапоритовыми озерами характерна несколько более низкий, чем для сбалансированных бассейнов уровень  $C_{\text{орг}}$  (до 20%), водородный индекс — от умеренного до высокого: 650—1150 мг/г НС/г, газовые компоненты УВ незначительны. В составе нефти таких бассейнов отмечается относительно низкое содержание парафинов (ниже пределов 5—10%), большая доля асфальтеновых и ароматические соединений, что обуславливает их повышенную плотность (от высокой до средней). Так же для таких нефтей типично высокое содержание серы (до 12%). Сернистые тяжелые нефти широко распространены в кайнозойских лимногенных бассейнах Китая (бассейн Бохай, Кайдам и др.) и тесно связаны с месторождениями гипса и других эвапоритов.

Таким образом, наиболее богатые материнские породы (черные сланцы) озерного генезиса с содержанием органического углерода выше 20% накапливаются в крупных, относительно глубоководных гидрологически сбалансированных (солончатых) бассейнах. Современными аналогами таких водоемов являются тектонические озера тропической зоны, такие как Африканские рифтовые озера [12], обладающие высокой продуктивностью фитопланктона. В этих бассейнах в

наибольшей степени достигаются условиях для длительного накопления и сохранения больших объемов сапропелевой органики с формированием мощных и протяженных нефтепродуктивных толщ.

Приведенные данные позволяют рассматривать лимногенный класс месторождений УВ в качестве отдельной, но весьма неоднородной, генетической группы, отличающейся по комплексу геологических, геохимических и геоэкологических признаков.

### **Распределение в осадочных бассейнах и геологические особенности месторождений**

Месторождения нефти и газа озерного генезиса неравномерно распределены в осадочных бассейнах континентов, однако, в той или иной степени нефтегенное озерное вещество присутствует (в сочетании с морским и аллювиально-дельтовым) во всех трех классах нефтегазоносных бассейнов — платформенных, орогенных и геосинклинальных.

*Особенности формирования залежей озерных УВ в наиболее типичных геодинамических обстановках.* В пределах платформ отмечается связь нефтепродуктивных озерных комплексов с крупными рифтогенными структурами глубинного заложения, присутствующих, как во внутренних, так и краевых частях платформ. В бассейнах континентальных рифтов основными нефтематринскими отложениями служат черные аргиллиты, накапливающиеся на профундали глубоких стратифицированных озер сбалансированного типа. Мощные толщи битуминозных осадков внутренних зон рифтовых впадин, сопряженные с краевыми аллювиально-дельтовыми и морскими карбонатными отложениями, обладающими хорошими коллекторскими свойствами, определяют перспективность лимногенных комплексов платформенных рифтов в качестве месторождений УВ (рисунок).

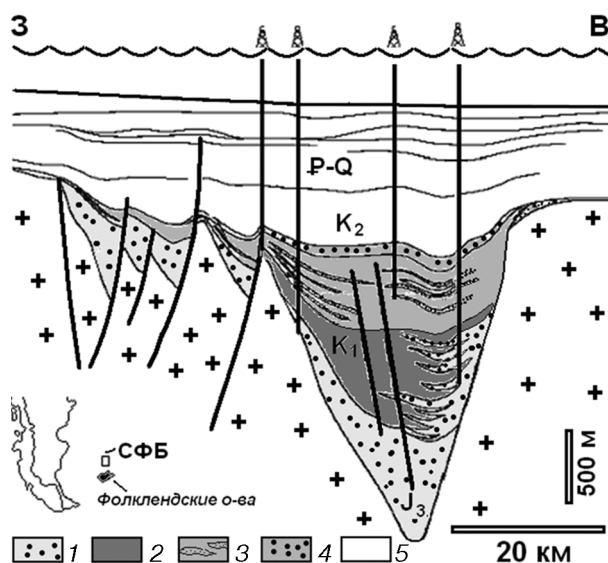
Характерной особенностью распределения нефтематеринских озерных формаций в рифтогенных осадочных бассейнах является их приуроченность к нижним (синрифтовым) этажам, перекрытым морскими и дельтовыми осадками (в том числе также нефтегенными) — пелагическими глинами и шельфово-склоновыми турбидитами. Это определяет широкие возможности формирования месторождений УВ озерного генезиса в верхних карбонатно-терригенных комплексах, вследствие их вертикальной миграции, со смешением с углеводородами других материнских источников.

Наличие в лимногенных комплексах углеводородных коллекторов и благоприятные катагенетические условия для термического созревания УВ (высокий геотермический градиент), делает сами лимногенные структуры перспективными образованиями для дальнейшего наращивания углеводородных ресурсов платформ, несмотря на относительную труднодоступность для разработки и меньшие объемы резервуаров по сравнению с морскими бассейнами.

Широко распространены крупные месторождения УВ озерного генезиса на пассивных континентальных окраинах атлантического типа, например, на шельфе и континентальном склоне Южной Атлантики. Озерные нефти этого региона представлены крупными месторождениями в бассейнах Северного и Южного

Конго, а бассейне Кампус и некоторых наземных бассейнах Юго-Восточной Бразилии.

Наиболее высококачественные нефтематеринские породы ( $C_{\text{орг}} = 1\text{--}5\%$  и более) западной африканской окраины вмещает нижнемеловая формация Букомази [1], характеризующаяся значительными размерами и высокими мощностями (до 2,5 км) продуктивных толщ, сложенных обогащенными органическим веществом аргиллитами и мергелями, образовавшимися в обстановке глубокого, стратифицированного палеозера. Формация служит источником нефтяных скоплений, сконцентрированных в песчаных и карбонатных резервуарах синрифтовых комплексов, а также мигрировавших в вышележащие морские резервуары (верхний мел — кайнозой) через солевые окна.



**Рисунок.** Схема залегания нефтематеринских (2, 3) и коллекторских (1, 4) пород осадочного выполнения внутриплатформенного рифта на примере Северо-Фолклендского нефтегазосного бассейна: 1 — аллювиальные и озерно-аллювиальные песчаники; 2 — озерные битуминозные аргиллиты; 3 — толща озерных битуминозных алевролитов с прослоями дельтовых песчаников; 4 — аллювиальные песчаники; 5 — осадочные чехлы из мелководно-морских и дельтовых отложений

(Figure. The pattern of occurrence of sour (2, 3) and reservoir (1, 4) rocks sedimentary performance of the intra-platform rift on the example of the North-Falkland oil and gas basin: 1 — fluvial and lacustrine-fluvial sandstones; 2 — lacustrine mudstone; 3 — lacustrine siltstones with interlayers of delta sandstones; 4 — fluvial sandstones; 5 — sedimentary cover from shallow-marine and delta deposits)

Глубоководно-озерные черные карбонатные аргиллиты нижнего мела, обогащенные сапропелевым веществом, являются также основным источником высококачественных жидких УВ бассейнов Бразильской окраины [1]. Возрастным аналогом формации Букомази здесь служит неокомская формация Лагу Фиа ( $C_{\text{орг}} = 1\text{--}5\%$  и более, водородный индекс до 550 мг НС/г  $C_{\text{орг}}$ ), содержащая превосходные жидкие углеводороды, мигрировавшие через зоны трещиноватости в ловушки морского осадочного комплекса с образованием серии нефтяных месторождений-гигантов.

Незначительную роль играют озерные обстановки в формировании нефтегазонности бассейнов наплитных впадин и переходных зон, возникающих над рифтовыми структурами на стадии формирования осадочного чехла платформ.

В предгорных впадинах (форландых) альпийских горных сооружений озерные обстановки подавляются высокими скоростями сноса осадков с растущего орогена. Поэтому здесь преобладают мелководные пресноводные озера (гидрологически открытые бассейны), окруженные обширными аллювиально-пролювиальными равнинами. В таких обстановках накапливаются преимущественно угленосные и газогенерирующие аллювиально-озерные комплексы, обогащенные наземным органическим веществом. Относительно мощные озерные толщи, обогащенные сапропелевым веществом сбалансированных или эвапоритовых озер, в форландовых впадинах могут формироваться при сниженном уровне поставки терригенного материала, возможным в условиях аридного и семиаридного климата. Например, в форланде Скалистых гор (Запад США) в раннем эоцене сформировалась нефтеносная озерная формация Грин-Ривер, содержащая крупнейшее в мире месторождение неморских горючих сланцев и троны. Сопряженность нефтегенных сланцев с залежами содовых эвапоритов свидетельствует о преимущественно засушливых палеоклиматических условиях осадконакопления.

В межгорных впадинах складчатых поясов широко распространены небольшие, рассеянные месторождения УВ озерного и аллювиально-озерного генезиса, связанные с нефтематринскими толщами мощностью в среднем 0,5—2,5 км и до пределов 4—5 км в отдельных случаях. Коллекторы в таких впадинах приурочены к обломочным фациям аллювиального или дельтового генезиса. Особенно характерны такие бассейны для эпиплатформенных глыбовых орогенов. Нефтегазовые бассейны данного типа наряду с рифтогенными платформенными бассейнами широко распространены в западном и северо-восточном Китае, а также Монголии, где продуктивные толщи имеют мезо-кайнозойский возраст и связаны с многочисленными впадинами, заложенными на герцинском фундаменте. Так, с продуктами преобразования неоконских сапропелевых илов в палеоозерах межгорных впадин связаны небольшие месторождения нефти и горючих сланцев и нефтепроявления в центре, на востоке и юге Монголии. Низкая степень термической зрелости материнских пород и небольшие объемы продуктивных толщ, определяют низкое промышленное значение монгольских месторождений [3].

Наиболее слабо развиты озерные комплексы в структуре осадочных бассейнов геосинклинальных поясов, поскольку здесь континентальные обстановки осадконакопления довольно кратковременны, предшествуя или завершая морскую седиментацию.

### **Геоэкологические аспекты, связанные с добычей углеводородов озерного генезиса**

При рассмотрении геоэкологических проблем добычи УВ озерного генезиса нужно отметить, что в основном они схожи с проблемами, возникающими при разведке и эксплуатации месторождениями УВ разного генезиса. Можно выделить следующие общие проблемы нефтегазовой отрасли.

1. Нарушение почвенного и растительного, поверхностного стока, деградация мерзлых грунтов в период разведки и освоения месторождений.

2. Отрицательные вертикальные движения земной поверхности в результате извлечения из недр нефти, газа и подземных вод, поддерживающих пластовое давление.

3. Загрязнение атмосферы при добыче УВ, во время аварий, природным газом, продуктами испарения нефти и также продуктами сгорания попутного нефтяного газа.

4. Химическое загрязнение почв и гидросферы в период разведки месторождений (при бурении скважин), эксплуатации и транспортировки.

Вместе с тем, особенности состава, физико-химических свойств, условий залегания и размещения залежей УВ озерного генезиса, показанные ранее, позволяет выделить ряд специальных геоэкологических проблем, характерных для месторождений данного генетического типа. Они связаны не только с особенностями добычи, но и условиями транспортировки и переработкой УВ лимногенного происхождения.

Как было показано, для озерной нефти характерна средняя парафинистость, низкое содержание высокомолекулярных соединений, как правило, низкое содержание серы. Это определяет хорошие промышленные качества и меньшую химическую агрессивность жидких УВ озерного генезиса по сравнению с углеводородами морского генезиса. Таким образом, в среднем, добыча УВ озерного генезиса несет меньшую геохимическую нагрузку на окружающую среду за счет более «облагороженного» их состава. Так, относительно низкое содержание парафинов в озерной нефти благоприятно для ее добычи и транспортировки, а малая сернистость по сравнению с морскими нефтями снижает ее агрессивность при транспортировке и количество вредных выбросов при переработке. По другим свойствам, таким как плотности и содержания смол, асфальтенов, газосодержащие, различия связаны не столько с генезисом нефтематеринского вещества, сколько со степенью его катагенетического преобразования, и сильно различаются в зависимости от месторождения.

Вместе с тем геологические условия лимногенных месторождений УВ, связанные с особенностями залегания лимногенных материнских пород (высокая глубина залегания, многоярусность промышленных скоплений, их сильная латеральная контрастность в сочетании с переменной мощностью), технически усложняет их разработку и эксплуатацию. Особенно ярко труднодоступность лимногенных месторождений проявляется в рифтогенных осадочных бассейнов внутри и на окраинах платформ. В последнем случае их разведку и разработку необходимо проводить с акватории шельфовых морей, что сопряжено с повышенными рисками разлива углеводородного сырья и загрязнения окружающей среды.

Наряду с геоэкологическими аспектами добычи традиционных углеводородных ресурсов, необходимо отдельно рассмотреть спектр проблем, связанных с извлечением сланцевой нефти и газа, значительная часть месторождений которых имеет озерное происхождение. В отличие от месторождений традиционных углеводородов, скопления нефтяных сланцев лимногенных бассейнов по сравнению

с морскими бассейнами, имеют как правило более высокую промышленную ценность за счет большой мощности залежей и высокого содержания битуминозного компонента.

Крупнейшим месторождением нефтеносных сланцев в мире является лимногенная формация Грин-Ривер. В подземном сланцевом бассейне площадью около 15 тыс. км<sup>2</sup>, содержится около 800 млрд баррелей извлекаемых запасов нефти, что втрое больше запасов Саудовской Аравии. Сопоставимы по запасам с формацией Грин-Ривер верхнепермские озерные сланцы северо-запада Китая. В Бразилии крупнейшее месторождение нефтяных сланцев озерного генезиса — бассейн долины Парайба. Многочисленные небольшие сланцевые бассейны озерно-аллювиального генезиса, часто связанные с угленосными толщами, не имеют высокого промышленного значения из-за преобладания небольших и рассеянных залежей.

Поскольку в незрелых нефтяных сланцах, в отличие от проницаемых нефтяных пластов, нефть не может свободно перемещаться в слоях, для ее извлечения применяются различные технологии, такие как прогревание пород и использование направленных взрывов. Это приводит к значительному удорожанию процесса добычи и вызывает ряд геоэкологических проблем. В процессе извлечения нефти требуется бурение все новых скважин, так как скважина отдает только тот объем, на который удалось подействовать проведенными мероприятиями, оставшая нефть останется нетронутой, пока не будет пробурена следующая скважина и не проведен все тот же комплекс процедур. Разработка сланцевых месторождений, таким образом, ведет к ряду геоэкологических проблем, связанных с высоким расходом воды, высокой энергоемкостью процесса извлечения горючих сланцев, выбросами в атмосферу парниковых газов.

## ВЫВОДЫ

1. Отличительная особенность нефтегенного органического вещества озерного генезиса заключается в его высокой геохимической гетерогенности по сравнению с морским и аллювиально-болотными органическими фациями в сочетании с высоким содержанием планктоногенного (сапропелевого) вещества I типа, способного продуцировать качественные углеводороды с высоким содержанием водорода.

2. В озерных бассейнах накапливаются преимущественно нефтематеринские отложения, реже газоматеринские, причем последние формируются в гидрологически открытых, пресноводных водоемах в сочетании с аллювиально-болотными угленосными фациями.

3. Лимногенные углеводороды составляют три геохимических группы, соответствующие трем типам озерных бассейнов — гидрологически открытым (сточным), закрытым (бессточным) и сбалансированным. Выделенные группы отличаются составом керогенов, соотношением сапропелевой и гумусовой компоненты органического вещества, индексом Н/С материнских пород, а также физико-химическими свойствами генерируемых УВ, такими как плотность, содержание парафинов и серы.

4. Высокопарафинистые нефти озерно-аллювиального генезиса в сравнении с собственно «озерными» углеводородами зачастую имеют наиболее качественные физико-химические свойства — среднюю и низкую плотность, пониженное содержание высокомолекулярной компоненты (асфальтенов), низкую сернистость, однако они, как правило, не образуют крупных месторождений.

5. В целом нефтематеринские породы и резервуары озерного происхождения играют значительную роль в формировании месторождений УВ платформенных рифтогенных бассейнов, нижних (синрифтовых) комплексов пассивных окраин, межгорных и предгорных впадин. Значительно менее распространены они в бассейнах наплитных впадин и геосинклинальных поясов.

6. Нефти озерного генезиса в среднем по сравнению с углеводородами морского генезиса имеют более экологичные физико-химические свойства (за исключением тяжелых нефтей эвапоритовых озерных бассейнов) — меньшую сернистость и большую парафинистость, однако их месторождения отличаются более сложными геологическими условиями добычи, сопряженные с рядом геоэкологических проблем.

7. Широкий спектр геоэкологических проблем (истощение водных ресурсов, загрязнение атмосферы парниковыми газами и др.) также связан с освоением месторождений термически незрелой сланцевой нефти, наиболее ценные из которых имеют озерное происхождение.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Обстановки осадконакопления и фации / под ред. Х. Рединга. М.: Мир, 1990. Т. 1. 351 с.
- [2] Рассказов А.А., Васильева Е.Ю., Горбатов Е.С., Георгиевский А.Ф. Лимногеология и условия озерного осадкообразования: учеб. пособие, М.: РУДН, 2012. 151 с.
- [3] Рассказов А.А., Горбатов Е.С., Васильева Е.Ю. Геодинамические условия формирования приразломных озерных котловин Южного и Среднего Урала // Геофизические исследования. 2013. № 2. С. 71–83.
- [4] Cohen A.S. Paleolimnology: the history and evolution of lake systems. Oxford: 2003. 500 p.
- [5] Bohacs K.M., Carroll A.R., Neal J.E. Lessons from large lakesystems — thresholds, nonlinearity, and strange attractors / Geological Society of America Special Paper 370, 2003. Pp. 75–90.
- [6] Рассказов А.А., Скобелев С.Ф., Стукалова И.Е. Эволюция процессов континентального литогенеза в лимногенных комплексах Урала // Седиментогенез и литогенез осадочных образований. В.П. Алексеев (отв. ред.). Екатеринбург: УГГГА, 1996. С. 104–105.
- [7] Bohacs K.M., Carroll A.R., Neal J.E., Mankiewicz P.J. Lake-Basin Type, Source Potential, and Hydrocarbon Character: an Integrated Sequence Stratigraphic–Geochemical Framework / Gierlowski-Kordesch E.H., Kelts K.R. Lake basins through space and time / AAPG, 2000. Pp. 3–34.
- [8] Kelts K. Environments of deposition of lacustrine petroleum source rocks: an introduction // Lacustrine petroleum source rocks // Lacustrine Petroleum Source Rocks A.J. Fleet, K. Kelts, M.L. Talbot (Ed.) Oxford: 1988. Pp. 3–27.
- [9] Скоробогатов В.А. Термобарогеохимическая эволюция скоплений УВ(на примере молодых плит СССР) // Геология нефти и газа. 1991. № 8. С. 23–29.
- [10] Carroll A.R., Bohacs K.M. Stratigraphic classification of ancient lakes: Balancing tectonic and climatic controls. *Geology* 27, 1999. Pp. 99–102.
- [11] Carroll A.R., Bohacs K.M. Lake-type controls on petroleum source rock potential in nonmarine basins // AAPG Bulletin, v. 85, no. 6 (June 2001). Pp. 1033–1053.

- [12] Полякова И.Д. Нефтегазаносные бассейны Южной Атлантики // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2014. Т. 9. № 2. С. 1—22.
- [13] Лимнология и палеолимнология Монголии / отв. ред. Ю.Ю. Дгебуадзе. М., 2014. 412 с.; ил. (Биологические ресурсы и природные условия Монголии: Труды Совместной Российско-Монгольской комплексной биологической экспедиции РАН и АНМ; т. 60.)

© Рассказов А.А., Горбатов Е.С., Васильева Е.Ю., 2017

**История статьи:**

Дата поступления в редакцию: 22.05.2017

Дата принятия к печати: 28.08.2017

**Для цитирования:**

Рассказов А.А., Горбатов Е.С., Васильева Е.Ю. Месторождения лимногенных углеводородов и геоэкологические аспекты, связанные с их генезисом // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности.* 2017. Т. 25. № 3. С. 366—379. DOI 10.22363/2313-2310-2017-25-3-366-379

**Сведения об авторах:**

Рассказов Андрей Андреевич — доктор геолого-минералогических наук. E-mail: rasskazo@yandex.ru

Горбатов Евгений Сергеевич — кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН. E-mail: e.s.gor@mail.ru

Васильева Екатерина Юрьевна — кандидат географических наук, доцент кафедры геоэкологии экологического факультета РУДН. E-mail: ti-gress@yandex.ru

## DEPOSITS OF LACUSTRINE HYDROCARBONS AND GEOECOLOGICAL ASPECTS RELATED TO THEIR GENESIS

A.A. Rasskazov<sup>1</sup>, E.S. Gorbatov<sup>2</sup>, E.Yu. Vasilieva<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Ecological Faculty, Peoples' Friendship University of Russia  
Podolskoe shosse, 8/5, Moscow, Russia, 115093

<sup>2</sup> Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Ac.Sc. (IPE RAS)  
Bolshaya Gruzinskaya str., 10/1, Moscow, Russia, 123242

It is shown that hydrocarbon deposits associated with fossil lacustrine complexes represent a separate genetic group of deposits that differ in terms of a complex of geological, geochemical and geoeological features. The mechanisms of accumulation of sour rocks in lacustrine basins of different hydrological type are presented. It was established that the lacustrine genesis oil has a better chemical composition compared to liquid hydrocarbons of marine genesis. However, their extraction requires additional economic and environmental costs due to complex geological conditions

**Key words:** Oil and gas fields, rift lakes, Lacustrine lithogenesis, Sedimentary basins, geoeological problems



## REFERENCES

- [1] Sedimentary environmental and facies / Ed. H. Reading. Moscow: Mir, 1990. T. 1. 351 p.
- [2] Rasskazov A.A., Vasilyeva E.Yu., Gorbatov E.S., Georgievsky A.F. Limnogeology and conditions of lacustrine Sedimentation: A Training manual. Moscow: RUDN, 2012. 151 p.
- [3] Rasskazov A.A., Gorbatov E.S., Vasilieva E.Yu. Geodynamical conditions formation of fault lacustrine kettles in the South and Middle Urals // *Geophysical Research*. 2013. № 2. Pp. 71–83.
- [4] Cohen A.S. Paleolimnology: the history and evolution of lake systems. Oxford: 2003. 500 p.
- [5] Bohacs K.M., Carroll A.R., Neal J.E. Lessons from large lakesystems — thresholds, nonlinearity, and strange attractors / Geological Society of America Special Paper 370, 2003. Pp. 75–90.
- [6] Rasskazov A.A., Skobelev S.F., Stukalova I.E. Evolution of processes of continental lithogenesis in limnogenic complexes of the Urals // *Sedimentogenesis and lithogenesis of sedimentary formations*. Ed. V.P. Alekseev. Ekaterinburg: UGGGA, 1996. Pp. 104–105.
- [7] Bohacs K.M., Carroll A.R., Neal J.E., Mankiewicz P.J. Lake-Basin Type, Source Potential, and Hydrocarbon Character: an Integrated Sequence Stratigraphic–Geochemical Framework / Gierlowski-Kordesch E.H., Kelts K.R. Lake basins through space and time / AAPG, 2000. Pp. 3–34.
- [8] Kelts K. Environments of deposition of lacustrine petroleum source rocks: an introduction // *Lacustrine petroleum source rocks* // *Lacustrine Petroleum Source Rocks* A.J. Fleet, K. Kelts, M.L. Talbot (Ed.) Oxford: 1988. Pp. 3–27.
- [9] Skorobogatov V.A. Thermobarogeochemical evolution of hydrocarbon accumulations (using the example of young plates of USSR) // *Geology of oil and gas*. 1991. № 8. Pp. 23–29.
- [10] Carroll A.R., Bohacs K.M. Stratigraphic classification of ancient lakes: Balancing tectonic and climatic controls. *Geology* 27, 1999. Pp. 99–102.
- [11] Carroll A.R., Bohacs K.M. Lake-type controls on petroleum source rock potential in nonmarine basins // *AAPG Bulletin*. V. 85. No. 6 (June 2001). Pp. 1033–1053.
- [12] Polyakova I.D. Oil and gas basins of the South Atlantic // *Oil and gas geology. Theory and practice*. 2014. Vol. 9. No. 2. Pp. 1–2.
- [13] *Limnology and Paleolimnology of Mongolia* / Ed. Yu.Yu. Dgebuadze. Moscow, 2014. 412 p.

### Article history:

Received: 22.05.2017

Revised: 28.08.2017

### For citation:

**Rasskazov A.A., Gorbatov E.S., Vasilieva E.U. (2017) Deposits of lacustrine hydrocarbons and geocological aspects related to their genesis. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*, 25 (3), 366–379. DOI 10.22363/2313-2310-2017-25-3-366-379**

### Bio Note:

*Rasskazov Andrey Andreevich* — Doctor of Geological and Mineralogical Sciences. E-mail: rasskazo@yandex.ru

*Gorbatov Evgeny Sergeevich* — candidate of geological and mineralogical sciences, senior researcher of the O.Yu. Schmidt Institute of Physics of the Earth. of the Russian Academy of Sciences. E-mail: e.s.gor@mail.ru

*Vasilyeva Ekaterina Yurievna* — Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor of the Department of Geocology of the Environmental Faculty of the Peoples' Friendship University of Russia. E-mail: ti-gress@yandex.ru



DOI 10.22363/2313-2310-2017-25-3-380-395

УДК 550.42

## РАСПРЕДЕЛЕНИЕ И ФАКТОРЫ АККУМУЛЯЦИИ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ И МЕТАЛЛОИДОВ В РЕЧНЫХ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ НА ТЕРРИТОРИИ Г. УЛАН-УДЭ

Н.С. Касимов, И.Д. Корляков, Н.Е. Кошелева

Географический факультет  
Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова  
*Ленинские горы, Москва, Россия, 119991*

Изучены распределение и факторы аккумуляции тяжелых металлов и металлоидов (ТММ) в донных отложениях р. Селенги и ее притока Уды на территории г. Улан-Удэ. Их эколого-геохимическое состояние может влиять на состояние нижнего течения р. Селенги и оз. Байкал. Отобрано 3 фоновых, 12 городских и 1 проба донных отложений ниже по течению от города. Определены основные физико-химические свойства (рН, содержание органического вещества, оксидов железа, гранулометрический состав) и валовое содержание ТММ в пробах. Для отложений рек Селенги и Уды свойственны песчаный и супесчаный гранулометрический состав, нейтральная реакция среды, низкое содержание органического вещества и  $Fe_2O_3$ . Выше по течению от г. Улан-Удэ отложения р. Селенги и Уды обладают близким химическим составом и характеризуются рассеиванием и околочларковыми концентрациями ТММ. В пределах города и ниже по течению отложения по микроэлементному составу несущественно отличаются от фоновых, что связано с их низкой сорбционной способностью и незначительным загрязнением осаждающегося взвешенного вещества. Слабоконтрастные геохимические аномалии выявлены вблизи автомагистралей (Mo, Cd, Bi), нефтебазы «Бурят-терминал» (W, Cu, Mo, As, Sb, Pb, Bi, Cd, Co, Ni), очистных сооружений (As, W, Bi), выше по течению авиазавода (Cd) и ниже ТЭЦ-1 (W, V, Cd, Cu, Sb). Наличие корреляционных связей содержания ТММ с физико-химическими свойствами отложений указывают на то, что формирование геохимических аномалий обусловлено также присутствием сорбционно-седиментационных, хемосорбционных и биогеохимических барьеров. Для накопления аниогенного Mo большое значение имеет кислый барьер. Суммарное загрязнение отложений в пределах города и ниже по течению относится к допустимому уровню. Превышения ПДК (в 1,5–3,4 раза) в отложениях р. Селенги установлены для As. Таким образом, в г. Улан-Удэ и ниже по течению — наблюдается слабая техногенная трансформация и низкая экологическая опасность загрязнения речных отложений. Максимальные содержания ТММ локализованы на геохимических барьерах вблизи промышленных предприятий и автомагистралей.

**Ключевые слова:** загрязнение, тяжелые металлы и металлоиды, городские ландшафты, донные отложения, геохимические барьеры

### Введение

Одним из направлений городской экогеохимии является изучение загрязнения донных отложений рек и водоемов. В донных отложениях накапливаются поллютанты, поступающие с промышленными, коммунально-бытовыми и ливне-

выми стоками. Поэтому их экологическое состояние служит интегральным показателем техногенной нагрузки на городские ландшафты [1]. Формирующиеся в реках и водоемах техногенные илы сравнивают с «бомбой замедленного действия», так как при изменении геохимической обстановки содержащиеся в них ТММ могут переходить в растворенную форму, мигрировать в речных водах и распространяться по пищевым цепям [2]. Нередко локальное загрязнение компонентов городских аквальных ландшафтов приводит к выносу поллютантов за границы города. Наиболее сильное техногенное воздействие на донные отложения наблюдается в крупных городах [1; 3; 4].

Проблема загрязнения городских донных отложений ТММ достаточно хорошо изучена в России и за рубежом. Первая группа исследований посвящена выявлению пространственных трендов и факторов аккумуляции ТММ в донных отложениях рек, каналов и озер. Подобные исследования проведены в Ногинске, Электростали, Улан-Баторе [5], Красноярске [6], Стокгольме [7], Бергене [8], Авейру [9], Кампале [10], Богре [11], *Читтагонге* [12], Бангалоре [13] и др. Вторая группа исследований связана с определением форм нахождения ТММ в донных отложениях [11; 14].

Цель данной работы — изучить распределение и факторы аккумуляции ТММ в речных донных отложениях крупного промышленного центра. В качестве объекта исследования выбран г. Улан-Удэ в нижнем течении р. Селенги, впадающей в оз. Байкал. На территории города расположено более 35 потенциальных источников загрязнения: очистные сооружения, городская свалка, предприятия приборостроения, ремонта локомотивов и вагонов, металлопроката, авиа- и судостроения и др. Основной вклад в загрязнение атмосферы вносят работающие на угле ТЭЦ и выбросы автотранспорта [15].

Актуальность работы связана с тем, что эколого-геохимическое состояние городских донных отложений может влиять на состояние нижнего течения р. Селенги и оз. Байкал и определяет их пригодность для рекреации. Предшествующие исследования почвенного покрова Улан-Удэ выявили его слабое загрязнение по сравнению с фоновыми территориями [16], хотя город включен в приоритетный список городов с высоким уровнем загрязнения воздуха [15]. Возможно, поллютанты накапливаются в донных отложениях, которые, как и почвы, выступают депонирующей средой по отношению к ТММ.

В задачи исследования входило:

- отбор образцов донных отложений из р. Селенги и ее притока р. Уды; определение в них физико-химических свойств и содержания ТММ;
- выявление пространственного распределения ТММ в речных донных отложениях в зависимости от их основных физико-химических свойств и уровня антропогенного воздействия;
- оценка экологической опасности загрязнения донных отложений.

### **Материалы и методы исследования**

Донные отложения рр. Селенги и Уды опробовались в период летней межени в конце июля 2015 г. Отобрано 12 образцов отложений выше и ниже по течению крупных промышленных и транспортных объектов (рис. 1). Средний шаг про-

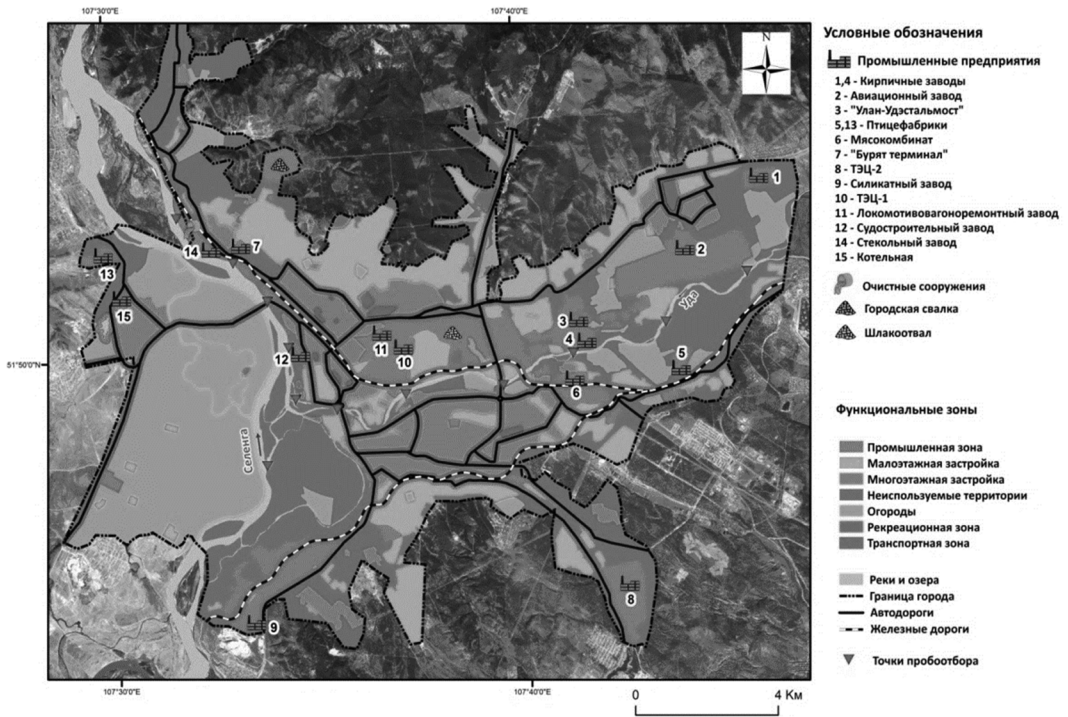


Рис. 1. Карта функционального зонирования г. Улан-Удэ с точками отбора проб донных отложений

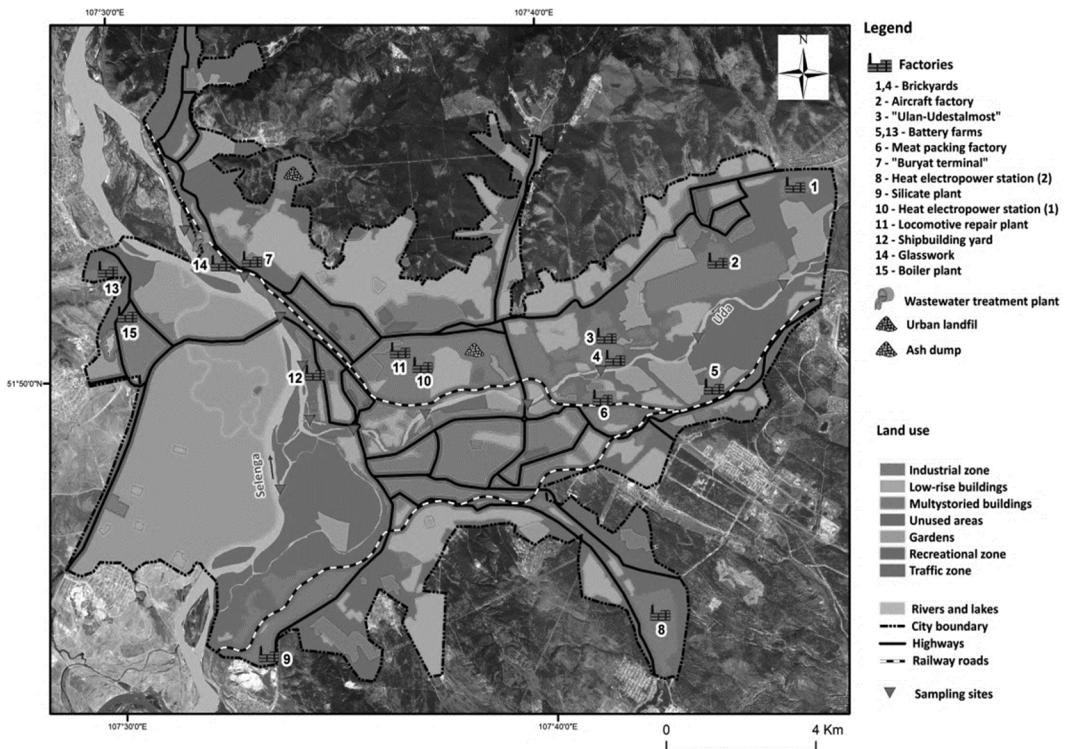


Fig. 1. Map of land-use zoning of the Ulan-Ude territory with sampling points of bottom sediments

боотбора на р. Селенге составил 1700 м, на р. Уде — 2800 м. Фоновые пробы р. Уды отбирались в 8 и 26 км, р. Селенги — в 11 км выше границы города. В 16 км ниже по течению из р. Селенги была взята 1 проба.

Валовое содержание ТММ и  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  в пробах определялось во ВНИИ минерального сырья им. Н.М. Федоровского масс-спектральным (ICP/MS) и атомно-эмиссионными методами (ISP/AES) с индуктивно связанной плазмой на масс-спектрометре “Elan-610” и атомно-эмиссионном спектрометре “Optima-4300 DV” (Perkin-Elmer, США). Для подробного анализа выбраны 14 ТММ 1-3 классов опасности: V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, As, Mo, Cd, Sb, W, Pb, а также Bi и Sn. В Эколого-геохимическом центре географического факультета МГУ определены гранулометрический состав в трехкратной повторности на лазерном микроанализаторе размеров частиц “Analizette 22”, pH в водной суспензии на стационарном приборе «Эксперт-pH», содержание органического вещества  $C_{\text{орг}}$  методом И.В. Тюрина. Эти физико-химические свойства влияют на способность донных отложений закреплять поллютанты.

Статистическая обработка геохимических данных в программном пакете Statistica 8 включала вычисление выборочных средних, медиан, коэффициентов ранговой корреляции Спирмена ( $r$ ) и других статистических показателей.

Содержание ТММ в фоновых донных наносах, которые отбирались выше по течению города, путем расчета кларков концентрации (КК) и рассеяния (КР) сравнивалось с кларками литосферы А.П. Виноградова [17], а также с кларками, рекомендованными Н.С. Касимовым, Д.В. Власовым [18]: Z, Hg, S, Gao для Bi, Co, Cu, V [19]; Н.А. Григорьева для W, Sb, Ni, Cr, As, Zn [20]; R.L. Rudnick, S. Gao для Mo, Cd [21]; К.Н. Wedepohl для Sn [22].

Интенсивность антропогенного воздействия оценивалась коэффициентами концентрации ТММ в донных наносах по отношению к фону:  $K_c = C_a/C_{\text{ф}}$ , где  $C_a$ ,  $C_{\text{ф}}$  — содержание ТММ в городских и фоновых образцах соответственно. Так как в РФ не существует нормативных документов, которые устанавливают уровни ПДК для ТММ в донных отложениях, экологическая опасность загрязнения донных отложений ( $K_o = C_a/\text{ПДК}$ ) определялась по отношению к ПДК, разработанным для почв [23]. Уровень полиэлементного загрязнения донных отложений характеризовался в зависимости от показателя суммарного загрязнения  $Z_c = \sum K_c - (n - 1)$ , где  $n$  — число ТММ с  $K_c > 1$ , который имеет пять градаций [24].

## Результаты и их обсуждение

**Физико-химические свойства и сорбционная способность донных отложений.** Физико-химические свойства городских и фоновых отложений практически не отличаются друг от друга, за исключением более высокого — в 1,5–3 раза — содержания органического вещества в городе. Донные отложения р. Селенги и Уды характеризуются песчаным и супесчаным гранулометрическим составом, нейтральной реакцией среды, низким содержанием органического вещества и  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (рис. 2). Таким образом, в целом они обладают невысокой сорбционной способностью по отношению к ТММ.

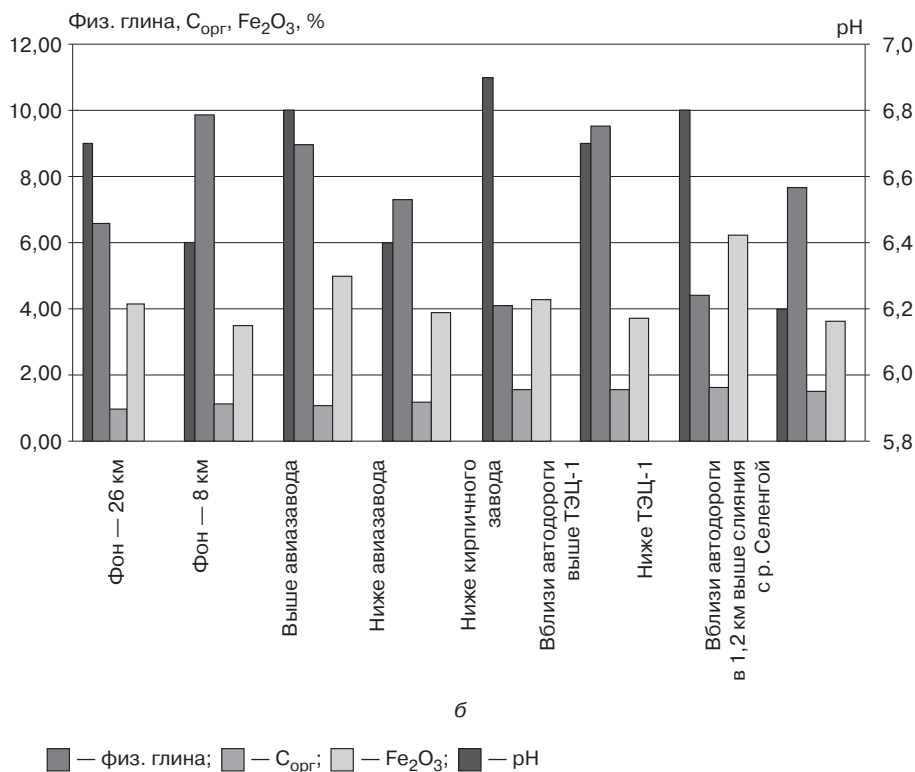
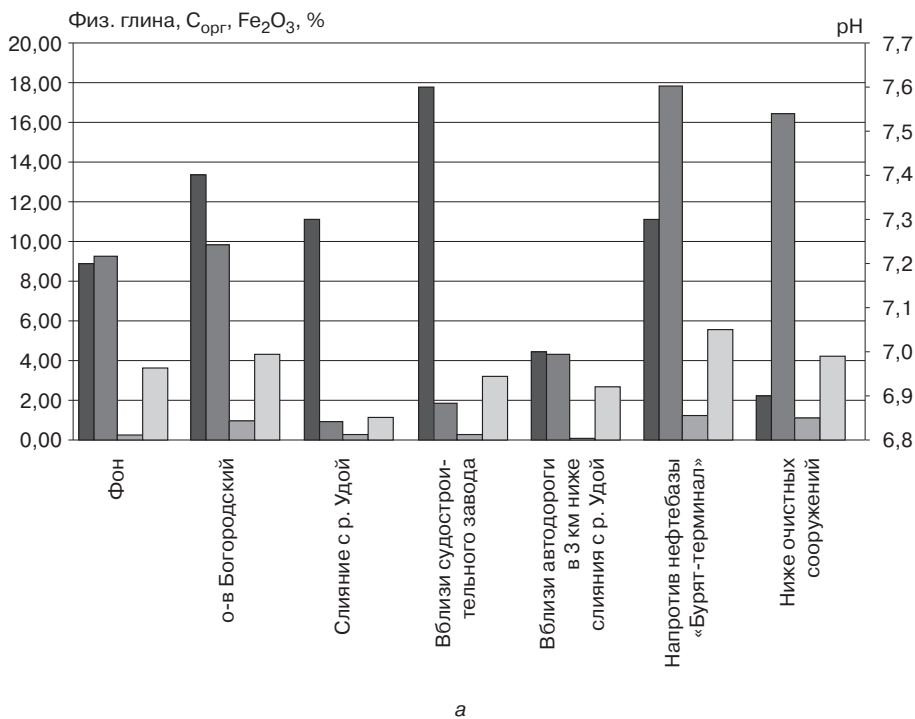
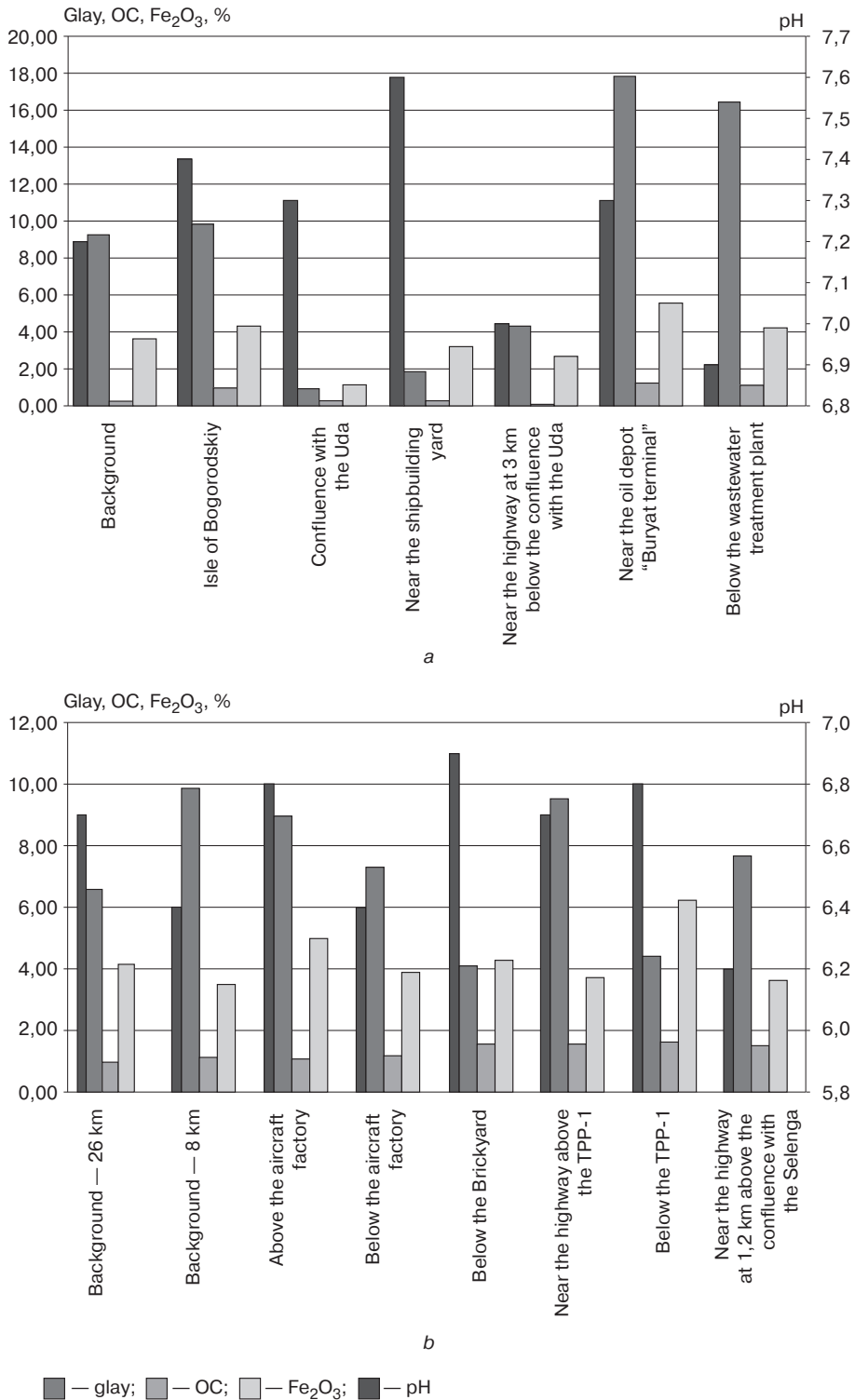


Рис. 2. Изменение сорбционных свойств донных отложений вниз по течению р. Селенги (а) и р. Уды (б) в районе г. Улан-Удэ



**Fig. 2.** Change in sorption properties of bottom sediments downstream of the Selenga (a) and Uda (b) rivers within the Ulan-Ude city

Донные отложения обеих рек имеют близкое содержание физической глины и  $Fe_2O_3$ , однако в донных отложениях р. Уды в среднем в 2,5 раза больше органического вещества, что обуславливает несколько более кислую реакцию среды — коэффициент корреляции между этими показателями  $r = -0,53$ . С учетом того, что рН снижается незначительно, донные отложения р. Уды обладают более высокой сорбционной способностью.

Максимальное содержание физической глины, органического вещества и  $Fe_2O_3$  в городских донных отложениях р. Селенги приурочено к нефтебазе «Бурят-терминал», очистным сооружениям и острову Богородскому (см. рис. 2). В донных отложениях р. Уды повышенная аккумуляция физической глины выявлена выше авиазавода и ТЭЦ-1,  $Fe_2O_3$  — ниже ТЭЦ-1. Рост содержания органического вещества наблюдается ниже кирпичного завода. Повышенное содержание этих компонентов как основных фаз-носителей ТММ, может способствовать их накоплению в донных отложениях.

**Содержание ТММ в донных отложениях.** Выше г. Улан-Удэ донные наносы р. Селенги обогащены относительно кларков А.П. Виноградова  $Bi$  ( $KK = 14,4$ ) и  $As$  (1,9), обеднены  $Cu_{5,0}$ ,  $Ni_{3,3}$ ,  $Cr_{2,5}$ ,  $Co_{2,2}$ ,  $Mo_{2,0}$  (нижние индексы —  $KP$ ), содержания остальных ТММ близки к кларкам. Аккумуляция  $As$  в донных отложениях уже отмечалась в среднем течении р. Селенги ниже впадения Чикоя. Это объясняется повышенным содержанием  $As$  в слагающих бассейн горных породах [25]. Накопления ТММ относительно других глобальных кларков не выявлено, среди рассеивающихся оказались  $Bi$ ,  $As$ ,  $W$  ( $KP = 1,7$ ) при снижении рассеяния у  $Cu$  ( $KP = 2,5$ ).

Таблица

**Содержание ТММ (мг/кг) в речных донных отложениях в районе г. Улан-Удэ и на фоновых территориях**

Объект (число проб)	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	As	Mo	Cd	Sn	Sb	W	Pb	Bi
р. Селенга в 11 км выше Улан-Удэ ( $n = 1$ )	66,8	33,4	8,16	18,1	11,6	54,5	3,16	0,55	0,12	1,97	0,59	1,16	16,1	0,13
р. Селенга в Улан-Удэ ( $n = 6$ )	63,5	27,9	7,80	16,3	13,1	59,7	3,20	0,70	0,1	2,10	0,60	1,70	20,3	0,20
р. Уда в 8 км выше Улан-Удэ ( $n = 1$ )	67,4	17,7	6,87	10,6	11,2	66,7	2,50	1,0	0,15	2,56	0,45	1,36	17,8	0,13
р. Уда в 26 км выше Улан-Удэ ( $n = 1$ )	93,7	14,1	5,62	8,83	9,94	65,4	1,40	1,07	0,12	2,41	0,37	1,21	15,2	0,12
р. Уда в Улан-Удэ ( $n = 6$ )	88,5	19,0	6,80	9,40	10,4	60,3	1,20	1,2	0,1	2,70	0,40	1,70	18,7	0,10

Table

**Content of HMMs (mg/kg) in river bottom sediments in the Ulan-Ude city and in the background territories**

Object (number of samples)	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	As	Mo	Cd	Sn	Sb	W	Pb	Bi
Selenga river, 11 km above Ulan-Ude ( $n = 1$ )	66,8	33,4	8,16	18,1	11,6	54,5	3,16	0,55	0,12	1,97	0,59	1,16	16,1	0,13
Selenga river in Ulan-Ude ( $n = 6$ )	63,5	27,9	7,80	16,3	13,1	59,7	3,20	0,70	0,1	2,10	0,60	1,70	20,3	0,20
Uda river, 8 km above Ulan-Ude ( $n = 1$ )	67,4	17,7	6,87	10,6	11,2	66,7	2,50	1,0	0,15	2,56	0,45	1,36	17,8	0,13



Object (number of samples)	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	As	Mo	Cd	Sn	Sb	W	Pb	Bi
Uda river, 26 km above Ulan-Ude (n = 1)	93,7	14,1	5,62	8,83	9,94	65,4	1,40	1,07	0,12	2,41	0,37	1,21	15,2	0,12
Uda river in Ulan-Ude (n = 6)	88,5	19,0	6,80	9,40	10,4	60,3	1,20	1,2	0,1	2,70	0,40	1,70	18,7	0,10

По химическому составу фоновые отложения р. Уды почти не отличаются от наносов р. Селенги, они обогащены  $Bi$  ( $KK = 11,1$ ) и обеднены  $Cu_{5,0}$ ,  $Ni_{5,0}$ ,  $Cr_{5,0}$ ,  $Co_{2,9}$ . При сравнении с другими кларками обогащения наносов ТММ не установлено, а список ТММ с кларками рассеяния дополнили  $Bi$ ,  $As$ ,  $W$ ,  $Sb$  ( $KP = 1,7–2,5$ ) при снижении рассеяния у  $Cu$  ( $KP = 2,5$ ).

Таким образом, фоновые донные отложения обеих рек выше Улан-Удэ характеризуются в основном околочларковыми или пониженными содержаниями ТММ. По сравнению с р. Удой в наносах р. Селенги в 1,5–2,1 раза выше концентрации  $Cr$ ,  $As$ ,  $Ni$ ,  $Sb$  и в 1,7 раза ниже  $Mo$ .

В пределах г. Улан-Удэ речные отложения по микроэлементному составу практически не отличаются от фоновых (таблица), что связано с их низкой сорбционной способностью и незначительным загрязнением осаждающегося взвешенного вещества [26]. Как и на фоне, городские наносы р. Селенги по сравнению с р. Удой имеют в среднем более высокое содержание  $Cr$ ,  $As$ ,  $Ni$ ,  $Sb$  и более низкое —  $Mo$ . Кроме литогеохимических особенностей, это связано с разными условиями аккумуляции ТММ. Так, сорбция  $Mo$  усиливается в более кислых и богатых органическим веществом донных отложениях р. Уды.

**Пространственные тренды накопления ТММ в донных отложениях.** Слабоконтрастные локальные аномалии ( $K_c \geq 1,5$ ) ТММ в донных отложениях обеих рек выявлены вблизи крупных промышленных предприятий и транспортных магистралей. В отложениях р. Селенги максимальные содержания  $W$ ,  $Cu$ ,  $Mo$ ,  $As$ ,  $Sb$ ,  $Pb$ ,  $Bi$ ,  $Cd$ ,  $Co$ ,  $Ni$  ( $K_c = 1,7–3,5$ ) приурочены к нефтебазе «Бурят-терминал» (рис. 3).

Большая часть ТММ, очевидно, поступает в составе нефтепродуктов, которые образуют пленку на водной поверхности. Они могут попадать в реку при разгрузке загрязненных грунтовых вод и за счет утечек из расположенной на берегу нефтебазы. Ниже очистных сооружений установлены незначительные превышения фоновых содержаний  $As$ ,  $W$  и  $Bi$  ( $K_c = 1,5–1,9$ ). Видимых нарушений работы очистных сооружений зафиксировано не было, поэтому слабая аккумуляция этих ТММ, скорее всего, обусловлена незначительными утечками сточных вод.

Закономерное нарастание загрязнения донных отложений вниз по течению р. Селенги нарушается при впадении р. Уды, где отложения отличаются низкой сорбционной способностью и удаленностью от крупных промышленных предприятий и автомагистралей. На расстоянии 16 км ниже Улан-Удэ содержание всех ТММ практически совпадает с фоновым. Таким образом, антропогенные изменения состава донных отложений р. Селенги четко проявляются только в черте города. Донные отложения р. Уды выше авиазавода накапливают  $Cd$  ( $K_c = 1,5$ ), вблизи автодороги выше по течению ТЭЦ-1 —  $Cd$ ,  $Bi$  ( $K_c = 1,5–1,6$ ), ниже ТЭЦ-1 —  $W$ ,

V, Cd, Cu, Sb ( $K_c = 1,5—2,0$ ), вблизи автодороги в 1,2 км выше впадения в Селенгу — Mo, Cd, Bi ( $K_c = 1,5—1,6$ ) (рис. 4). Согласно данным снегомерной съемки [26], для выбросов ТЭЦ характерно наличие V, а для эмиссии автотранспорта — Bi и Cd.

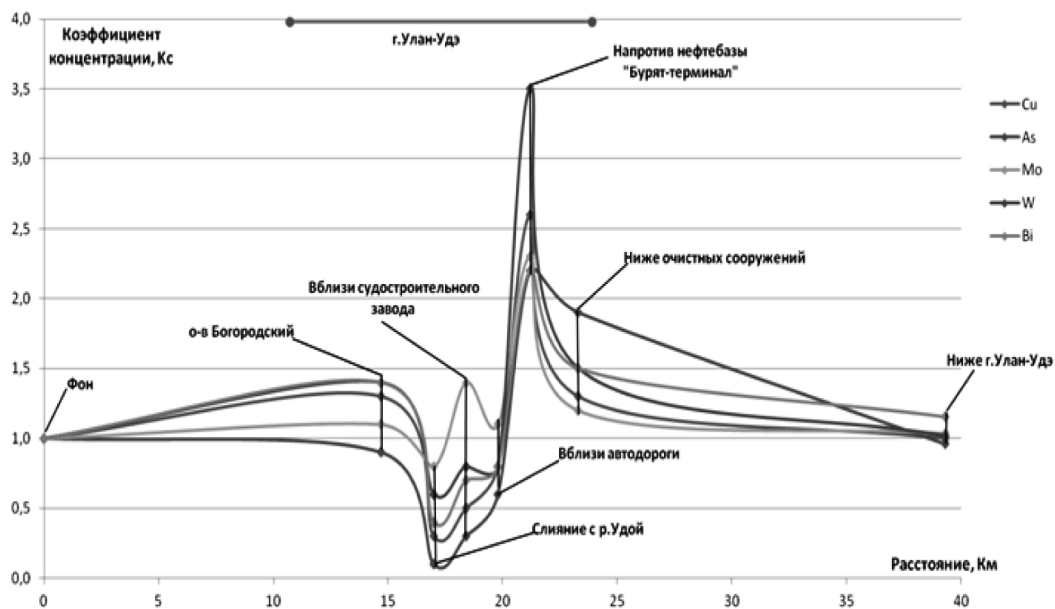


Рис. 3. Изменение концентраций Cu, As, Mo, W, Bi в донных отложениях р. Селенги вниз по течению в районе г. Улан-Удэ относительно фона

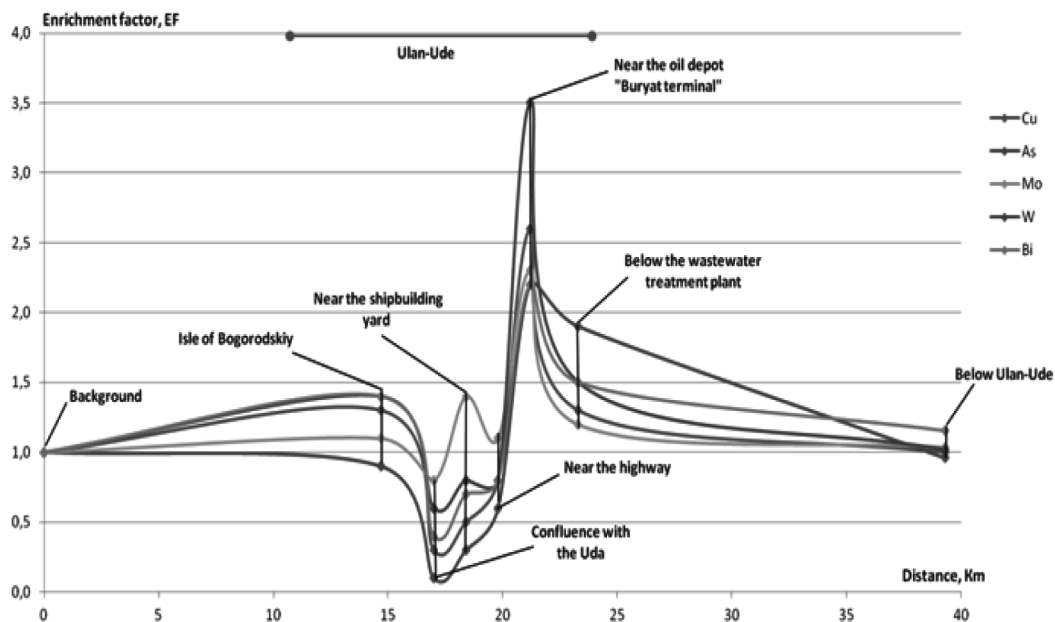
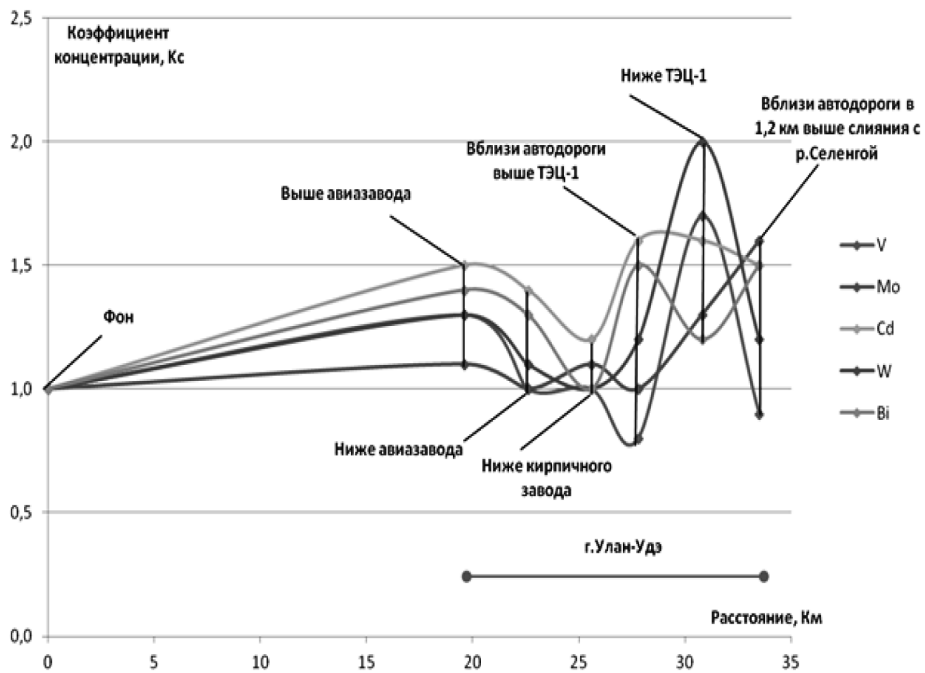
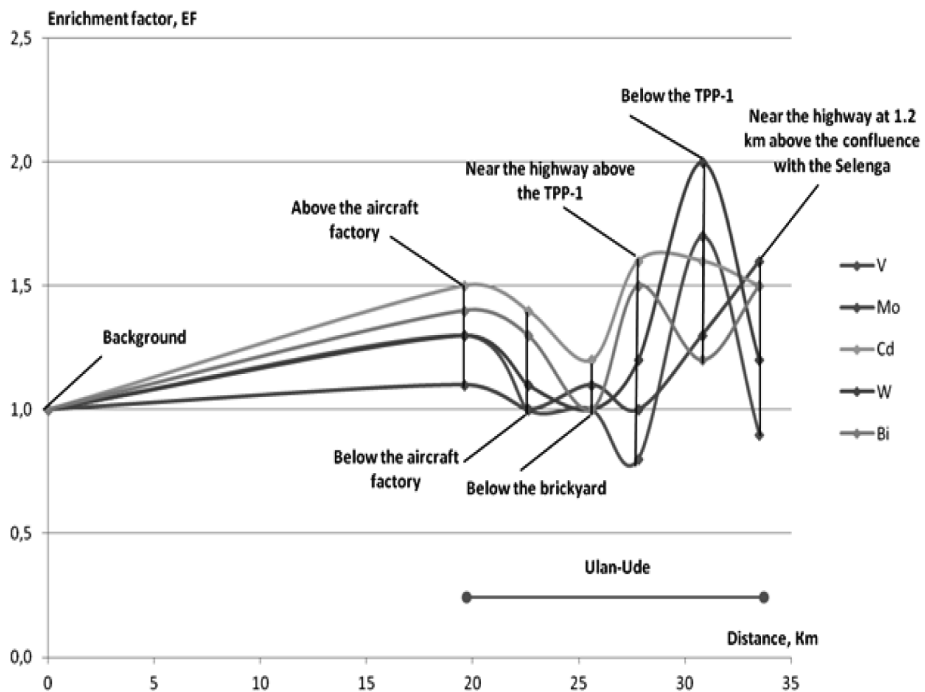


Fig. 3. Change in the concentrations of Cu, As, Mo, W, Bi in the bottom sediments downstream of the Selenga river within the Ulan-Ude city relative to the background



**Рис. 4.** Изменение концентраций V, Mo, Cd, W, Bi в донных отложениях р. Уды вниз по течению в районе г. Улан-Удэ относительно фона



**Fig. 4.** Change in the concentrations of V, Mo, Cd, W, Bi in the bottom sediments downstream of the Uda river within the Ulan-Ude city relative to the background

Аккумуляция ТММ в донных отложениях рек определяется не только уровнем антропогенного воздействия, но и их физико-химическими свойствами. Содержание физической глины влияет на накопление практически всех ТММ, о чем свидетельствуют значимые положительные коэффициенты корреляции между этими величинами:  $\text{Bi}$ ,  $\text{Co}$ ,  $\text{Ni}$  ( $r = 0,93-0,89$ ),  $\text{Cr}$ ,  $\text{Cu}$ ,  $\text{Zn}$ ,  $\text{As}$ ,  $\text{Sb}$ ,  $\text{Cd}$ ,  $\text{W}$  ( $r = 0,78-0,5$ ). Органическое вещество усиливает сорбцию  $\text{Mo}$ ,  $\text{W}$ ,  $\text{Sn}$ ,  $\text{Zn}$ ,  $\text{Pb}$  ( $r = 0,73-0,6$ ). Эти же элементы (кроме  $\text{Pb}$ ) и  $\text{V}$  накапливаются при увеличении содержания оксидов железа ( $r = 0,9-0,59$ ). Для анионогенного  $\text{Mo}$  выявлена отрицательная корреляционная связь с  $\text{pH}$  ( $r = -0,57$ ), что согласуется с данными [1; 27].

Тесные корреляционные связи указывают на то, что осаждение ТММ происходит преимущественно на комплексных сорбционно-седиментационных, хемосорбционных и биогеохимических барьерах, приуроченных к отложениям с повышенным содержанием физической глины,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , органического вещества  $\text{C}_{\text{орг}}$ . Для накопления  $\text{Mo}$  большое значение имеет кислый барьер.

Контрастность аккумуляции ТММ выше по течению авиазавода и ТЭЦ-1 усиливается за счет сорбционно-седиментационного барьера, где содержание физической глины увеличивается до 9 и 9,6% соответственно. Ниже по течению ТЭЦ-1 определяющую роль для  $\text{V}$  играет хемосорбционный (с содержанием  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  6,2%), а для  $\text{W}$  — еще и биогеохимический ( $\text{C}_{\text{орг}} = 1,6\%$ ) барьеры. В 1,2 км выше впадения в Селенгу сорбция  $\text{Mo}$  усиливается при формировании биогеохимического (с  $\text{C}_{\text{орг}} = 1,5\%$ ) и кислого ( $\text{pH} = 6,2$ ) барьеров. При отсутствии поступления со стоками загрязненных фаз-носителей ТММ их аккумуляция ниже очистных сооружений и вблизи нефтебазы «Бурят-терминал», по всей видимости, усиливается за счет сорбционно-седиментационного, где содержание физической глины увеличивается до 16,5—17,9%, биогеохимического ( $\text{C}_{\text{орг}} 1,1-1,2\%$ ) и хемосорбционного барьеров (4,2—5,5%).

**Экологическая опасность загрязнения донных отложений.** Суммарное загрязнение донных отложений в пределах города и ниже по течению от него относится к допустимому уровню. За счет локального максимума вблизи нефтебазы «Бурят-терминал» ( $Z_c = 15,6$ ) среднее значение показателя  $Z_c$  р. Селенги (4,8) в 1,4 раза выше по сравнению с р. Удой (3,4). Если в качестве оценки среднего использовать медиану, то загрязнение обеих рек оказывается практически одинаковым.

Превышения ПДК в донных отложениях р. Селенги установлены для  $\text{As}$  ( $K_o = 1,5-3,4$ ). Максимальные сверхнормативные концентрации этого элемента зафиксированы вблизи нефтебазы «Бурят-терминал» (3,4) и ниже очистных сооружений (3,1). Ниже по течению от города  $K_o$  снижается до 1,5.

## Выводы

1. Донные отложения рек Селенги и Уды в пределах города и ниже по течению характеризуются околочларковыми или пониженными содержаниями ТММ и по микроэлементному составу практически не отличаются от фоновых, что связано с их низкой сорбционной способностью и незначительной техногенной трансформацией осаждающегося взвешенного вещества.

2. Слабоконтрастные ( $K_c = 1,5–3,5$ ) локальные аномалии ТММ в городских донных отложениях выявлены вблизи автомагистралей, нефтебазы «Бурят-терминал», очистных сооружений, выше по течению авиазавода и ниже ТЭЦ-1. Их контрастность обусловлена не только техногенной нагрузкой, но и наличием комплексных сорбционно-седиментационных, хемосорбционных, биогеохимических и кислых (для Мо) геохимических барьеров.

3. Суммарное загрязнение донных отложений в городе и ниже по течению от него относится к допустимому уровню. Превышения ПДК установлено для As ( $K_o = 1,5–3,4$ ).

#### Дополнительная информация

Конфликты интересов, связанные с рукописью, отсутствуют.

#### Финансирование:

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 17-05-41024).

#### Участие авторов:

Касимов Н.С. — постановка проблемы, интерпретация результатов;

Корляков И.Д. — полевые и лабораторные работы, обработка материалов;

Кошелева Н.Е. — полевые работы, анализ полученных данных.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] *Перельман А.И., Касимов Н.С.* Геохимия ландшафта. М.: «Астрей-2000», 1999. 768 с.
- [2] *Анищенко О.В., Гладышев М.И., Кравчук Е.С., Сушик Н.Н., Грибовская И.В.* Распределение и миграция металлов в трофических цепях экосистемы реки Енисей в районе г. Красноярска // *Водные ресурсы*. 2009. Т. 36. № 5. С. 623–632.
- [3] *Овчарова Е.П.* Эколого-геохимическая оценка поверхностного стока с городской территории (на примере г. Минска): автореф. дисс. ... канд. геогр. наук. Минск: Ин-т проблем использования природ. ресурсов и экологии НАН Беларуси, 2006. 22 с.
- [4] *Mohiuddin K.M., Zakir H.M., Otomo K., Sharmin S., Shikazono N.* Geochemical distribution of trace metal pollutants in water and sediments of downstream of an urban river // *International Journal of Environmental Science & Technology*. 2010. V. 7. Iss. 1. P. 17–28.
- [5] *Экогеохимия городских ландшафтов / под ред. Н.С. Касимова*. М.: Изд-во МГУ, 1995. 336 с.
- [6] *Дементьев Д.В., Болсуновский А.Я., Борисов Р.В., Трофимова Е.А.* Содержание тяжелых металлов в донных отложениях реки Енисей в районе Красноярска // *Известия Томского политехнического университета*. 2015. Т. 326. № 5. С. 91–98.
- [7] *Landstrom M., Jonsson A., Brolin A.A., Hakanson L.* Heavy metal sediment load from the city of Stockholm // *Water, Air, & Soil Pollution: 2001, Focus1*: 103–118.
- [8] *Andersson M., Eggen O.A.* Urban contamination sources reflected in inorganic pollution in urban lake deposits, Bergen, Norway // *Environ. Sci.: Processes Impacts*, 2015. Vol. 17. 854–867.
- [9] *Pastorinho M.R., Telfer T.C., Soares A.M.V.M.* Heavy Metals in Urban Channel Sediments of Aveiro City, Portugal / *Interdisciplinary Studies on Environmental Chemistry — Biological Responses to Contaminants*. 2010. P. 197–204.
- [10] *Sekabira K., Oryem O.H., Basamba T.A., Mutumba G., Kakudidi E.* Assessment of heavy metal pollution in the urban stream sediments and its tributaries // *Int. J. Environ. Sci. Tech.*, 2010. 7 (3). 435–446.
- [11] *Islam M.S., Ahmed M.K., Raknuzzaman M., Mamun M.H-A., Islam M.K.* Heavy metal pollution in surface water and sediment: A preliminary assessment of an urban river in a developing country // *Ecological Indicators*. 2015. 48: 282–291.

- [12] *Ali M.M., Ali M.L., Islam M.S., Rahman M.Z.* Preliminary assessment of heavy metals in water and sediment of Karnaphuli River, Bangladesh // *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*. 2016. 5: 27—35 p.
- [13] *Jumbe A.S., Nandini N.* Heavy Metals Analysis and Sediment Quality Values in Urban Lakes // *American Journal of Environmental Sciences*. 2009. 5 (6): 678—687.
- [14] *Hnaticova P., Benesova L., Komincova D.* Impact of urban drainage on metal distribution in sediments of urban streams // *Water science and technology*. 2009. P. 1237—1246.
- [15] Ежегодник состояния загрязнения атмосферы в городах на территории России за 2013 г. Санкт-Петербург: ООО РИФ Д-Арт, 2014. 273 с.
- [16] Касимов Н.С., Корляков И.Д., Кошелева Н.Е. Тяжелые металлы и факторы их аккумуляции в почвенном покрове г. Улан-Удэ // Мат-лы XV совещания географов Сибири и Дальнего Востока. Улан-Удэ, 10—13 сентября 2015. Иркутск, 2015. С. 93—96.
- [17] Виноградов А.П. Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных пород земной коры // *Геохимия*. 1962. № 7. С. 555—571.
- [18] Касимов Н.С., Власов Д.В. Кларки химических элементов как эталоны сравнения в экогеохимии // *Вестник Моск. ун-та. Сер. 5, геогр.* 2015. № 2. С. 7—17.
- [19] *Hu Z., Gao S.* Upper crustal abundances of trace elements: A revision and update // *Chem. Geol.* 2008. Vol. 253. Iss. 3-4. P. 205—221.
- [20] Григорьев Н.А. Распределение химических элементов в верхней части континентальной коры. Екатеринбург: УрО РАН, 2009. 382 с.
- [21] *Rudnick R.L., Gao S.* Composition of the continental crust // *Treatise on geochemistry*. Vol. 3. The Crust. Elsevier Sci., 2003. P. 1—64.
- [22] *Wedepohl K.H.* The composition of the continental crust // *Geochim. Cosmochim. Acta*. 1995. Vol. 59. No. 7. P. 1217—1232.
- [23] ГН 2.1.7.2041-06. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве: гигиенические нормативы. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2006. 15 с.
- [24] Касимов Н.С., Битюкова В.Р., Кислов А.В., Кошелева Н.Е., Никифорова Е.М., Малхазова С.М., Шартова Н.В. Проблемы экогеохимии крупных городов // *Охрана и разведка недр*. 2012. № 7. С. 8—13.
- [25] Сорокина О.И. Тяжелые металлы в ландшафтах г. Улан Батора: дисс. ... канд. геогр. наук. М.: Географический ф-т МГУ, 2013. 169 с.
- [26] Касимов Н.С., Кошелева Н.Е., Корляков И.Д., Сорокина О.И., Тимофеев И.В. Экогеохимия городов и промышленных центров в бассейне Селенги // *Геохимия ландшафтов. К 100-летию со дня рождения А.И. Перельмана* / под ред. Н.С. Касимова, А.Н. Геннадиева. М.: АПР, 2017. 18 с.
- [27] *Водяницкий Ю.Н.* Тяжелые металлы и металлоиды в почвах. М.: ГНУ Почвенный институт им. В.В. Докучаева РАСХН, 2008. 164 с.

© Касимов Н.С., Корляков И.Д., Кошелева Н.Е., 2017

#### История статьи:

Дата поступления в редакцию: 29.03.2017

Дата принятия к печати: 28.08.2017

#### Для цитирования:

Касимов Н.С., Корляков И.Д., Кошелева Н.Е. Распределение и факторы аккумуляции тяжелых металлов и металлоидов в речных донных отложениях на территории г. Улан-Удэ // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности*. 2017. Т. 25. № 3. С. 380—395. DOI 10.22363/2313-2310-2017-25-3-380-395

**Сведения об авторах:**

*Касимов Николай Сергеевич* — доктор географических наук, профессор, академик РАН, президент и заведующий кафедры геохимии ландшафтов и географии почв географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова. E-mail: nskasimov@mail.ru

*Корляков Илья Дмитриевич* — магистрант кафедры геохимии ландшафтов и географии почв географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова. E-mail: ilya.korlyakov@gmail.com

*Кошелева Наталья Евгеньевна* — доктор географических наук, ведущий научный сотрудник кафедры геохимии ландшафтов и географии почв географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова. E-mail: natalak@mail.ru

## **DISTRIBUTION AND FACTORS OF ACCUMULATION OF HEAVY METALS AND METALLOIDS IN RIVER BOTTOM SEDIMENTS IN THE TERRITORY OF THE ULAN-UDE CITY**

**N.S. Kasimov, I.D. Korlyakov, N.E. Kosheleva**

Lomonosov Moscow State University  
Lenin Hills, Moscow, Russia, 119991

The distribution and accumulation factors of heavy metals and metalloids (HMMs) in the bottom sediments of the Selenga river and its tributary Uda have been studied on the territory of Ulan-Ude. Their ecological and geochemical condition can influence the state of the lower reaches of the Selenga river and Baikal lake. We selected 3 background, 12 urban and 1 sample of bottom sediments downstream of the city. The main physical-chemical properties (pH, content of organic matter, iron oxides, granulometric composition) and the total content of HMMs in the samples were determined. The sediments of the Selenga and Udarivers are characterized by sandy and sandy-loamy granulometric composition, neutral reaction, low content of organic matter and  $Fe_2O_3$ . Upstream Ulan-Ude the rivers have a similar chemical composition of the sediments and are characterized by the dispersion and near-clark concentrations of the HMMs. Within the city and downstream, microelemental composition of the sediments has not significantly differ from the background one, this is due to their low sorption capacity and insignificant contamination of the precipitating suspended matter. Low-contrast geochemical anomalies were formed near the motorways (Mo, Cd, Bi), the oil storage facilities “Buryat-Terminal” (W, Cu, Mo, As, Sb, Pb, Bi, Cd, Co, Ni), treatment plant (As, W, Bi), upstream of the aircraft plant (Cd) and below TPP-1 (W, V, Cd, Cu, Sb). The presence of correlations between the HMM content and the physico-chemical properties of the deposits indicates that the geochemical anomalies were formed also due to the sorption-sedimentation, chemisorption and biogeochemical barriers. The acid barrier is of great importance for the accumulation of an anionic Mo. The total HMM contamination of sediments within the city and downstream refers to the permissible level. The MPC in the sediments of the Selengariver was exceeded for As (in 1,5–3,4 times). Thus, in the Ulan-Ude city and downstream, there are a weak man-made transformation and a low ecological danger of pollution of river sediments. The maximum contents of HMMs are localized on geochemical barriers near industrial enterprises and highways.

**Key words:** pollution, heavy metals and metalloids, urban landscapes, bottom sediments, geochemical barriers

## REFERENCES

- [1] Perelman A.I., Kasimov N.S. Geochemistry of the landscape. M.: Astrea-2000, 1999. 768 p. (In Russ).
- [2] Anishchenko O.V., Gladyshev M.I., Kravchuk E.S., Sushchik N.N., Gribovskaya I.V. Distribution and migration of metals in trophic chains of the Yenisei ecosystem near Krasnoyarsk City. *Water Resources*. 2009; 36 (5): 594—603.
- [3] Ovcharova E.P. Ecological — geochemical assessment of surface runoff from urban areas (based on the example of Minsk). Dissertation summary. ... Ph.D. Minsk: Institute of Problems of Natural Resources and Ecology of the National Academy of Sciences of Belarus. 2006. 22 pp.
- [4] Mohiuddin K.M., Zakir H.M., Otomo K., Sharmin S., Shikazono N. Geochemical distribution of trace metal pollutants in water and sediments of downstream of an urban river. *International Journal of Environmental Science & Technology*. 2010; 7 (1): Iss. 1 17—28.
- [5] Ecogeochemistry of urban landscapes / Ed. by N.S. Kasimov. Moscow: MSU, 1995. 336 p. (In Russ).
- [6] Dementyev D.V., Bolsunovsky A.Ya., Borisov R.V., Trofimova E.A. Concentrations of heavy metals in bottom sediments of the Yenisei river near Krasnoyarsk. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta*. 2015; 326 (5): 91—98.
- [7] Landstrom M., Jonsson A., Brodin A.A., Håkanson L. Heavy metal sediment load from the city of Stockholm. *Water, Air, & Soil Pollution*. 2001; Focus1: 103—118.
- [8] Andersson M., Eggen O.A. Urban contamination sources reflected in inorganic pollution in urban lake deposits, Bergen, Norway. *Environ. Sci.: Processes Impacts*, 2015; 17: 854—867.
- [9] Pastorinho M.R., Telfer T.C., Soares A.M. V.M. Heavy Metals in Urban Channel Sediments of Aveiro City, Portugal. *Interdisciplinary Studies on Environmental Chemistry — Biological Responses to Contaminants*. 2010: 197—204.
- [10] Sekabira K., Oryem O.H., Basamba T.A., Mutumba G., Kakudidi E. Assessment of heavy metal pollution in the urban stream sediments and its tributaries. *Int. J. Environ. Sci. Tech*. 2010; 7 (3): 435—446.
- [11] Islam M.S., Ahmed M.K., Raknuzzaman M., Mamun M.H.-A., Islam M.K. Heavy metal pollution in surface water and sediment: A preliminary assessment of an urban river in a developing country. *Ecological Indicators*. 2015; 48: 282—291.
- [12] Ali M.M., Ali M.L., Islam M.S., Rahman M.Z. Preliminary assessment of heavy metals in water and sediment of Karnaphuli River, Bangladesh. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*. 2016; 5: 27—35.
- [13] Jumbe A.S., Nandini N. Heavy Metals Analysis and Sediment Quality Values in Urban Lakes. *American Journal of Environmental Sciences*. 2009; 5 (6): 678—687.
- [14] Hnatucova P., Benesova L., Komincova D. Impact of urban drainage on metal distribution in sediments of urban streams. *Water science and technology*. 2009: 1237—1246.
- [15] Yearbook of the state of atmospheric pollution in Russia cities in 2013. St. Petersburg: RIF D-Art LLC, 2014. 273 p. (In Russ).
- [16] Kasimov N.S., Korlyakov I.D., Kosheleva N.E. Heavy metals and their accumulation factors in the soil cover in Ulan-Ude // Materials of the XV geographers' meeting from Siberia and the Far East. Ulan-Ude, September 10—13, 2015. Irkutsk, 2015, p. 93—96. (In Russ).
- [17] Vinogradov A.P. The average content of chemical elements in the main types of igneous rocks of the Earth's crust // *Geochemistry*. 1962. No. 7. P. 555—571.
- [18] Kasimov N.S., Vlasov D.V. Clarkes of chemical elements as comparison standards in ecogeochemistry. *Vestnik Mosk. un-ta*. Ser. 5, geogr. 2015; (2): 7—17. (In Russ).
- [19] Hu Z., Gao S. Upper crustal abundances of trace elements: a revision and update. *Chem. Geol*. 2008; 253: Iss. 3-4. 205—221.
- [20] Grigoryev N.A. Distribution of chemical elements in the upper part of the continental crust. Ekaterinburg: UrO RAN, 2009. 382 p. (In Russ).
- [21] Rudnick R.L., Gao S. Composition of the continental crust. *Treatise on geochemistry*. 2013; 3. The Crust. Elsevier Sci: 1—64.



- [22] Wedepohl K.H. The composition of the continental crust. *Geochim. Cosmochim. Acta*. 1995; 59 (7): 1217–1232.
- [23] GN 2.1.7.2041-06 (2006) Maximum permissible concentrations (MPCs) of chemical substances in the soil (In Russ).
- [24] Kasimov N.S., Bityukova V.R., Kislov A.V., Kosheleva N.E., Nikiforova E.M., Malkhazova S.M., Shartova N.V. Problems of ecogeochemistry of large cities // Protection and exploration of mineral resources. 2012. No. 7. P. 8–13. (In Russ).
- [25] Sorokina O.I. Heavy metals in landscapes of Ulan Bator. Dissertation Ph.D. M.: Geographical Faculty of MGU, 2013. P. 169. (In Russ).
- [26] Kasimov N.S., Kosheleva N.E., Korlyakov I.D., Sorokina O.I., Timofeev I.V. Ekogeochemistry of cities and industrial centers in the Selenga basin / Geochemistry of landscapes. To the centenary of the birth of A.I. Perelman. Ed. N.S. Kasimova, A.N. Gennadyeva. Moscow: APR, 2017. 18 p. (In Russ).
- [27] Vodyanitsky Y.N. Heavy metals and metalloids in soils. M.: GNU Soil Institute of V.V. Dokuchaeva RASHN. 2008. 164 p. (In Russ).

**Article history:**

Received: 29.03.2017

Revised: 28.08.2017

**For citation:**

**Kasimov N.S., Korlyakov I.D., Kosheleva N.E. (2017) Distribution and factors of accumulation of heavy metals and metalloids in river bottom sediments in the territory of the Ulan-Ude city. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*, 25 (3), 380–395. DOI 10.22363/2313-2310-2017-25-3-380-395**

**Bio Note:**

*Kasimov Nikolay Sergeevich* — doctor of geographical sciences, professor, academician of the Academy of Sciences, president and head of Department of Geochemistry of Landscapes and Geography of Soils, Faculty of Geography, Moscow State University. E-mail: nskasimov@mail.ru

*Korlyakov Ilya Dmitrievich* — Master of the Department of Geochemistry of Landscapes and Geography of Soils, Faculty of Geography, Moscow State University. E-mail: ilya.korlyakov@gmail.com

*Kosheleva Natalia Evgenievna* — Doctor of Geographical Sciences, Leading Researcher of the Department of Geochemistry of Landscapes and Geography of Soils, Faculty of Geography, Moscow State University. E-mail: nataalk@mail.ru



DOI 10.22363/2313-2310-2017-25-3-396-413

УДК 550.43

## ГЕОХИМИЧЕСКИЕ БАРЬЕРЫ КАК ФОРМА САМООРГАНИЗАЦИИ ЕСТЕСТВЕННЫХ ГЕОСИСТЕМ

А.П. Хаустов

Российский университет дружбы народов  
Подольское ш., 8/5, Москва, Россия, 115093

Представлена оценка функциональной роли геохимических барьеров (ГХБ) по отношению к свойствам и эволюции геохимических систем (ГХС). В качестве методологической базы привлекаются основы хаковенской синергетики, представления о самоорганизации систем и неравновесной (нелинейной) термодинамики И. Пригожина и его школы.

С авторских позиций ГХБ рассматриваются как самоорганизующиеся компоненты ГХС, в которых происходит активизация физико-химических процессов, приводящая к трансформации атомно-молекулярных структур, химических ассоциаций и отдельных химических элементов под действием активных сред (процессов). Они могут быть определяющим феноменом возникновения и эволюции геохимических систем.

С позиций геоэкологии и геохимии представление о допустимости антропогенных нагрузок на природные системы и их нормировании невозможно без учета роли ГХБ в миграции и трансформации загрязнителей.

Представление о геохимических барьерах — основа для активно применяемых на практике технологий по очистке и защите грунтов, подземных и поверхностных вод и в целом геологической среды.

**Ключевые слова:** геохимические барьеры, синергетика, самоорганизация, активная среда, термодинамика, полициклические ароматические углеводороды, маркеры

**Состояние проблемы.** Учение о ГХБ было центральным в исследованиях А.И. Перельмана. Начиная с 1961 г., им создавались основы их классификации, которая удачно раскрывает суть учения о ГХБ. По А.И. Перельману [9], геохимические барьеры<sup>1</sup> рассматриваются «как участки земной коры, где на коротком расстоянии происходит резкое уменьшение интенсивности миграции химических элементов, и как следствие, их накопление».

Определение термина «барьер» применительно к почвам и ландшафтам, их типология, функциональные особенности и экологическое значение ГХБ детально рассмотрены в одной из статей М.А. Глазовской [1]. В статье дано общее определение термина «барьер» применительно к почвам и ландшафтам «как препятствие на пути движения почвенных растворов и взвешенных твердых частиц различного размера — илистых, пылеватых, песчаных» (с. 27).

<sup>1</sup> Барьер — в пер. с французского — препятствие, этаж.

В большом энциклопедическом словаре ГХБ — зоны резкого уменьшения миграционной способности каких-либо химических элементов; процесс сопровождается их осаждением из раствора и приводит к возникновению их повышенной концентрации, в том числе промышленных.

Зональные и «участковые» ограничения вносят главную неопределенность, состоящую в том, что если они не выделены (а выделение фундаментально допустимо с помощью границ, которые подвижны в природных системах во времени и пространстве), то ГХБ в принципе не могут существовать, поскольку они вторичны по отношению к зонам.

Отметим, что практически все природные границы в системах диффузны и созданы для обмена самыми различными субстанциями, без которых сами открытые системы существовать не могут.

В «Горной энциклопедии» ГХБ — «участки земной коры, на которых в направлении миграции химических элементов одна устойчивая геохимическая обстановка на относительно коротком расстоянии сменяется другой. При этом происходит уменьшение миграционной способности отдельных элементов и их избирательное накопление, вплоть до образования рудных тел». Здесь тоже с семантических позиций не все благополучно.

Во-первых, «участок» предполагает площадные ограничения. Во-вторых, понятие устойчивости геохимической обстановки в направлении миграции в принципе не поддается интерпретации. Миграция — процесс нестационарный во времени и пространстве и, следовательно, понятие устойчивости к нему применимо только теоретически. В-третьих, смена *обстановок* — неперемное условие существования ГХБ. *Обстановок* каких? Но ГХБ могут возникать и без смены геохимических обстановок и наоборот. Все дело — в критических условиях взаимодействий факторов и условий миграции растворов. Главное — в синергизме этих процессов. Существенное в данном определении — избирательный характер химических элементов по отношению к барьерам. Здесь мы вплотную приблизились к функции границ.

В заключение краткого семантического обзора отметим, что с позиций проведенного анализа термин «барьер» — не очень удачный. Поэтому А.И. Опекуновым [7] была предложена классификация «границ — разделов» и «границ — барьеров» с различным агрегатным состоянием, на которых происходит максимизация массообмена за счет градиента физико-химических параметров на разделе фаз. С позиций системного анализа абсолютно правильно утверждается, что выделение систем из окружающей среды — это проблема границ (не всеми признанная наука *лимнология*, или наука о границах и их функциях).

Геологам и ландшафтоведом эта проблема наиболее близка и разрабатывается ими уже давно. С их позиций граница — активное каркасное явление, область не только разделения, но и взаимодействия. Это означает, что функции границ носят не только запретительный, но и разрешительный характер. Иными словами, границы на пути энергомассопотоков для одних их видов (состояний) будут непроницаемы, для других открыты. Тем не менее, проведение границы или ее идентификация формально превращает сплошную (однородную) среду в дискретную. Безусловно, познание структурности ГХС происходит через взаимодействующие

неоднородности или их границы (даже через множественность границ), которые выбираются через определенные измененные характеристики [12].

Согласно современным представлениям [2] ГХБ — «открытая, неравновесная, динамическая, самоорганизующаяся система с множеством факторов, обуславливающих осаждение элементов». Несмотря на лаконичность, это наиболее содержательное определение ГХБ, отвечающее системным представлениям. Однако и здесь можно найти семантические несогласованности. Если система неравновесная, то она, безусловно, является динамической. Множество факторов для развития природных систем и их элементов утверждение во многом проблематично и связано с их (факторов) устойчивостью. В нелинейной динамике для открытых систем эволюцию определяет ограниченное количество движущих сил (факторов), а еще точнее их кооперация или синергизм [10]. В случае воздействия разнонаправленных факторов, примерно равных по своей энергии, создаются резонансные автоколебательные структуры, приводящие к разрушению границ и, следовательно, систем. В тоже время автоволновые процессы при определенном сочетании векторов факторов — причина возникновения неоднородностей и, следовательно, границ (резонансное саморазвитие).

Подводя итог анализу проблем, отметим что необходимы новый методологический подход к самой постановке о роли ГХБ в миграции вещества и энергии в ГХС, детализация и уточнение самого понятия «геохимический барьер», а также построение моделей поведения веществ в пределах границ приоритетных для реабилитации и контроля компонентов природной среды.

**Методы исследований.** Российский опыт синергетического подхода широко представлен работами ученых МГУ С.П. Курдюмова, Г.Г. Маленцкого, А.П. Руденко, А.В. Смагина, В.А. Твердислова и др. Под синергетикой понимается наука об общих закономерностях и процессах образования устойчивых и разрушения упорядоченных временных пространственных структур в сложных неравновесных системах различной природы.

В одной из работ А.И. Перельмана [8] утверждается, что ни одна сложная структура не может возникнуть «готовой», а ГХБ относятся именно к сложным структурам. Легкая разрушаемость всех процессов, протекающих в системах, приводят к росту энтропии, следовательно — к разрушению границ и, значит, к увеличению однородности. Границы возникают вновь или мигрируют в пространстве и времени в зависимости от внешних и внутренних взаимодействий в системе. В случае, если внутреннее взаимодействие превышает внешнее, система стремится к самоорганизации из определенных центров или аттракторов.

Еще в первой половине прошлого века теория динамических систем развивалась в работах отечественных физиков. А.А. Андронов ввел понятие автоколебания и с помощью предельных циклов А. Пуанкаре и очертил контуры новой науки — нелинейной динамики (зادолго до И. Пригожина и Н. Стингерса). Вместе с Л.С. Понтрягиным он также ввел понятие *грубой системы*, нечувствительной к малым изменениям параметров. Такая система не меняет резко своих основных свойств при малых изменениях параметров. Ее состояния до и после изменения параметров топологически тождественны (эквивалентны). Грубые системы заполняют открытые области в функциональном пространстве всех динамических

систем. Вне этих областей и, в частности, на их границах лежат *негрубые (мягкие) системы*. Проход вещества и энергии через границу сопровождается бифуркацией — сменой структуры динамической системы за счет противоборства между процессами переноса, нарушающими равновесие и внутренними релаксационными процессами, стремящимися к восстановлению равновесия. Из этого теоретического положения следует важный вывод о том, что *геохимическая система не может существовать без геохимических барьеров, и даже более того, геохимические барьеры могут быть первичны по отношению к формированию целостных систем*. Например, взаимодействие «вода-породы» формирует новые минералы и, следовательно, новые свойства геохимической системы [15; 16].

По своей сути приведенное позволяет считать ГХБ «активной средой», способной к более высокому уровню пространственно-временной самоорганизации по сравнению с грубыми системами, а это уже принципиально новые подходы к их изучению. Самоорганизующаяся ГХС на определенных отрезки времени может принимать условно нечеткие формы границ за счет неравновесности. В этом смысле переходим от пространственных границ к временным ограничениям. Если время фильтрации или диффузии значительно больше времени переноса вещества (система с запаздыванием), то мы имеем дело с точечной или сосредоточенной системой. В обратном случае будет система с распределенными параметрами; именно в таких системах возможны согласованные структуры во времени и пространстве и их хаотическое чередование в различных точках. Вероятнее всего, на границах ГХБ «рождаются» и «умирают» геохимические микросистемы в целях создания более устойчивых форм или структур, а это еще одна функция ГХБ.

Само понятие структура в научной литературе трактуют различно. С позиций неравновесной динамики структура определяется как совокупность отношений, связей и взаимосвязей, инвариантных при некоторых преобразованиях [16]. Это означает, что из одного объекта и состояния в момент времени  $t_0$ , далее, в следующие моменты времени  $t_1, t_2, t_3, \dots$  могут возникнуть сходные с ними по каким-нибудь существенным признакам и параметрам второй, третий и т.д. объекты или его состояния (вещества). Что же касается динамики, то в этом случае структура определяется как совокупность отношений, связей и взаимосвязей, инвариантных при некоторых преобразованиях. И еще важная особенность: прежде всего, рассматривается *эволюционное состояние* систем (структур), при котором они обмениваются с окружающей средой (надсистемой) веществом, энергией и изменяется во времени. Это, так называемые, «открытые системы», которые пребывают в неравновесном состоянии и развиваются в определенном направлении.

С точки зрения поставленной цели, задачи авторских исследований состоят в идентификации химических веществ или их атомно-молекулярных связей (АМС) нефтяного загрязнения, репрезентативных для эволюционных путей развития систем и интерпретацию процессов, приводящих к этому развитию. Наиболее эффективно такие исследования миграции потоков веществ проводятся в точках бифуркации траектории систем или на геохимических границах-разделах.

Итак, коротко: *ГХБ — динамический элемент ГХС, регулирующий поступление порций энергии и вещества; границы (барьеры) — необходимый структурный элемент открытых самоорганизующихся систем.*

Но природные системы открыты и, имеют обратные отрицательные связи, приводящие к колебательным процессам. С этих позиций ГХБ можно представить как производную от структурно-фазовых переходов двух и более сред. Простейший пример взаимодействия относительно стабильной системы (система — мишень) и активной среды (рис. 1).



Рис. 1. Теоретическая модель возникновения автоколебаний при взаимодействии активной и пассивной сред

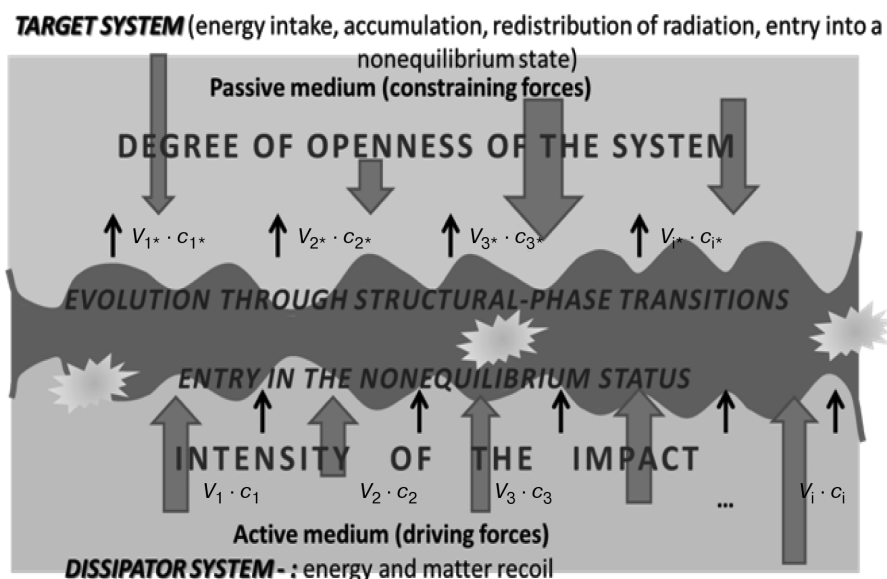


Fig. 1. Theoretical model of the appearance of self-oscillations in the interaction of active and passive media

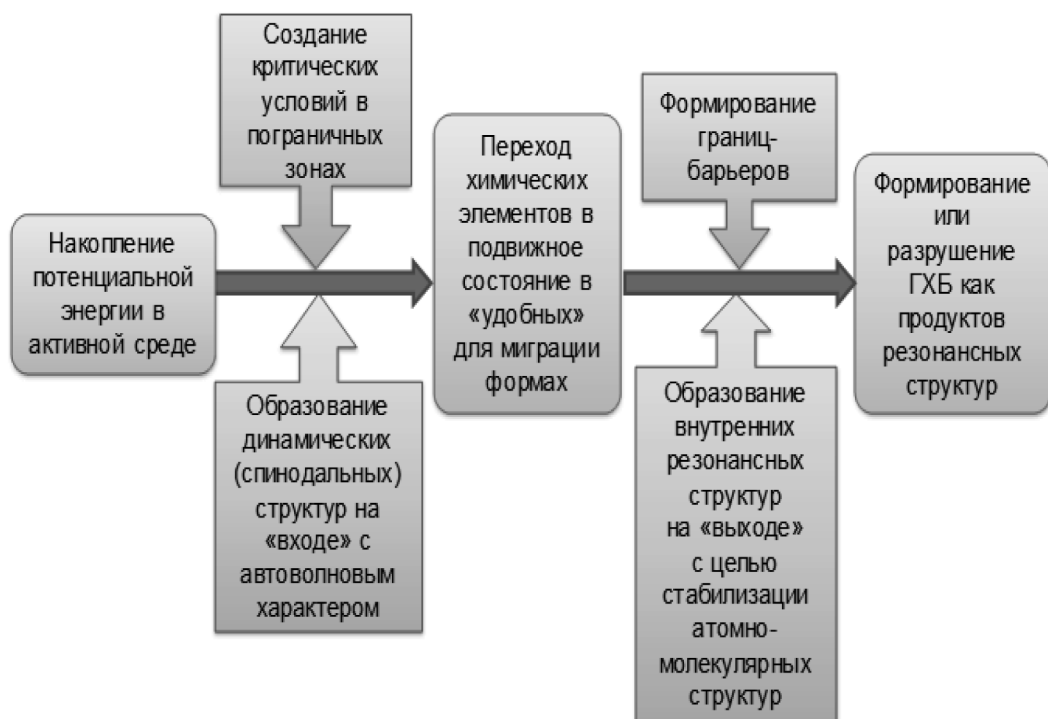
С позиций геохимии — это геохимические границы, на которых происходит преобразование, накопление или консервация, а возможно и рассеивание, потоков веществ. Они подразделяются на границы-барьеры в классическом понимании А.И. Перельмана и границы-разделы. Последний тип границ А.Ю. Опекуновым [7] подразделяется на границы-разделы, перечисленные ранее, и границы-барьеры «вода — вода», «осадок — осадок». С позиций теории систем такое подразделение принципиально, поскольку возможно придание различных функций макроскопическим параметрам: составу, свойствам и поведению в создании миграционных потоков веществ и энергии.

Таким образом, границы (барьеры) — *необходимый структурный элемент геохимических самоорганизующихся систем*. Изменение структуры или порядка невозможно без разграничения структуры на элементы. Разнообразие резонансных форм устойчивых связей в системе приводит к неустойчивости границ (рис. 2). Это, парадоксальное на первый взгляд, суждение приводит к принципиальному пересмотру понятия «геохимический барьер». Более того, границы предопределяют нелинейность. Как правило, неоднородности располагаются вблизи границ существования системы. Отсюда следует, что эволюция систем происходит из пограничных областей или их пограничных состояний [12].

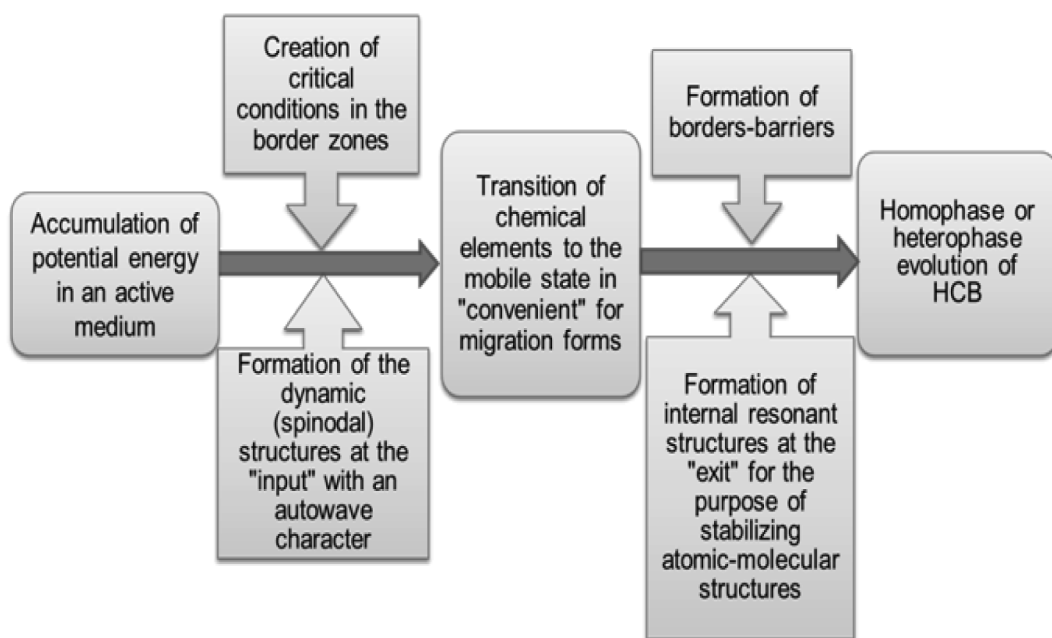
Одна из трактовок второго закона термодинамики свидетельствует о том, что неупорядоченных состояний в системе гораздо больше, чем упорядоченных. По сути, это готовый постулат в методологии поиска границ природных систем и познания их функциональной сущности. Термин «нелинейность» прочно вошел в естествознание более 30 лет назад и рассматривается как одна из фундаментальных особенностей всех естественных процессов наряду с необратимостью и неравновесностью. Нелинейность имманентно присуща всем сложным системам и проявляется на практике в таких фундаментальных свойствах, как эмерджентность, структурность и иерархичность. Для характеристики нелинейности процессов Г. Хакеном [11], по сути, был создан сложный многоцелевой аппарат синергетики, включающий теорию катастроф, особенностей, бифуркации, фракталов, автоколебаний. В понимании этого исследователя, *самоорганизующаяся система* без специфического воздействия извне обретает некоторую пространственно-временную или функциональную структуру за счет *внутреннего саморазвития*. Такое саморазвитие проявляется скачкообразным изменением состояния системы и выражается в виде совокупности нелинейных явлений к которым можно отнести фракционирование УВ [13; 14].

Фракционирование в системе «УВ — вода — породы» заключается в том, что в породах аккумулируются преимущественно высокомолекулярные соединения (смолы, асфальтены и др.), а в водоносные горизонты попадают такие соединения как бензол, толуол, ксилол и др., имеющие относительно высокую растворимость.

Растворимость УВ в воде зависит от их строения и молекулярной массы. При прочих равных условиях наибольшей растворимостью обладают низшие гомологи. Растворимость среди УВ с одинаковым количеством С-атомов падает в ряду *арены* → *нафтены* → *алканы*. Вследствие повышенной концентрации аренов в воде скорость их деградации становится соизмеримой со скоростью разрушения других, более усваиваемых микроорганизмами УВ. Благодаря этому увеличивается содержание в воде фенола, крезолов и ксиленолов.



**Рис. 2.** Теоретическая модель последовательности физико-химических процессов образования ГХБ: общая последовательность физико-химических процессов образования барьера



**Fig. 2.** Theoretical model of the sequence of physical and chemical processes of geochemical barrier formation: the general sequence of physical and chemical processes of barrier formation



Температура, вязкость, содержание воды, растворенных газов, способность к фазовым переходам и др. являются важнейшими структурными показателями. В легкой нефти преимущественно содержатся подвижные, но трудно разрушаемые ароматические УВ, нафтены и парафины, которые не токсичны, но застывают при низких температурах и лишают нефть подвижности. В составе тяжелой нефти, помимо вещественного состава легких нефтей, присутствуют смолы, асфальтены, а также различные металлы. Можно предположить, что *разнообразие новых структур при взаимодействии с почвами и породами тяжелых нефтей будет больше*, хотя они могут быть и не столь сложными, а значит и неустойчивыми, как в случае с легкими нефтями.

Таким образом, в открытой ГХС *энтропия сначала растет за счет активного химического взаимодействия, затем уменьшается* за счет превалирования внешних факторов (факторов надсистемы).

С позиций самоорганизации аэробное окисление бактериями УВ (внешнее воздействие) — *более мощный фактор*, по сравнению с химическим окислением. Оно происходит по сложной многостадийной схеме, под воздействием вырабатываемых бактериями ферментов — оксигеназ, которые катализируют присоединение кислорода к молекуле УВ. Это приводит к появлению таких веществ как спирты, альдегиды, карбоновые кислоты и др., вплоть до углекислого газа и воды [14]. Важно отметить, что процессы биокисления нефтяных УВ происходят по принципиально иным схемам, чем абиотическая трансформация.

С современных позиций [15] ГХБ рассматриваются как *самоорганизующиеся компоненты геохимических систем, в которых происходит активизация физико-химических процессов, приводящая к трансформации атомно-молекулярных структур, химических ассоциаций и отдельных химических элементов под действием активных сред (процессов)*.

Методика исследований обусловлена способностью нефти и (НП) к естественному разложению в различных фазовых состояниях речной и океанической систем. Дело в том, что нефть сама по себе уникальное природное соединение. Вещественный состав при ее попадании на поверхность земли во многом определяет степень деградации почвы. Чем сложнее АМС, тем менее интенсивны процессы естественного разложения нефти и НП. Например, хорошо растворимые алканы деградируют в первую очередь, а циклоалканы или нафтены, составляющие до 60% основу нефти, весьма устойчивы к внешним воздействиям. Именно полиарены в силу своих структурных особенностей наиболее репрезентативно отражают суть кинетики процессов вертикальной и горизонтальной миграции как естественных, так и техногенных потоков веществ. Для полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) характерны преимущественно реакции электрофильного замещения, а в реакции присоединения они практически не вступают, что хорошо объясняется их АМС.

Гидрофобные свойства ПАУ предполагают активизацию процессов вертикальной миграции вещества в атмосфере и воде с участием взвесей. Например, на геохимических барьерах «снег-лед» процессы трансформации и концентрации ПАУ обусловлены структурными свойствами снежного покрова, его высотой,

плотностью, влажностью, колебаниями температуры воздуха. Для льда это текстурные свойства, его взаимодействия в системе «снег — вода», изменение мощности с позиций структурной дифференциации УВ загрязнений из аэрозолей в криозоли и в ледяной покров. Перечисленные процессы формируют *дисперсную неустойчивую систему*, где в первую очередь создаются условия для миграции относительно легких УВ (примерно до  $C_{20}$ — $C_{22}$ ). Более тяжелые фракции сорбируются капиллярными каналами и каналами стока во льду, препятствуя более активной вертикальной миграции УВ и их испарению. Так проявляются процессы фракционирования по отношению к веществам-мигрантам.

ПАУ представлены липофильными молекулами и обычно имеют плоскую структуру за счет ароматической природы. Отсюда тенденция к адсорбции ко многим поверхностям. С другой стороны, их низкая растворимость объясняет отсутствие высоких концентраций в пресных водах. Традиционные представители ПАУ в воде — Naph, Flu, Phen, Py и An. Они более растворимы в воде, чем тяжелые ПАУ, имеющие 5—8 бензольных колец. Следовательно, легкие ПАУ — хороший индикатор многих процессов (например, загрязнения) в случае роста концентрации суммы ПАУ в водах.

Покажем это на примерах взаимодействия ПАУ на границах раздела сред, находящихся в различных агрегатных состояниях. Именно здесь происходит выборочная максимизация массообмена за счет градиента физико-химических параметров на разделе фаз. Под фазой понимается физически однородная часть (элемент) системы, ограниченная поверхностью раздела, по которой ее хотя бы условно можно отделить от других. В то же время, огромный интерес представляет зона взаимодействия речных и морских вод, т.е. границы барьеров «вода — морская вода — донные отложения». Такое взаимодействие наиболее удачно интерпретируется в рамках понятия «маргинальный фильтр» по А.П. Лисицыну [3].

**Объект и материалы исследований.** Для расчетов были использованы данные И.А. Немировской [4; 5]. В устье Северной Двины, губе Чупа, в 2006—2008 гг. были проведены специализированные исследования снежного и ледового покровов, а также речных и морских вод. Исходные данные ранжировались по схеме: геохимические барьеры «снег — поверхность льда», «нижняя часть пресноводного льда — вода речная», «нижняя часть морского льда — вода морская», «вода — дно».

Были рассчитаны *коэффициенты концентрации (КК) или обогащения ПАУ* для названных барьеров и разделов, как соотношение содержаний ПАУ в исходных субстанциях и в образующихся при фазовых переходах. Они показывают, во сколько раз концентрации в одной фазе больше концентраций в другой, контактирующей с исходной. По аналогии с биотическими процессами миграции химических элементов будем считать, что при  $КК \geq 1$  происходит накопление вещества.

**Аквальная система маргинального фильтра: зона реки.** Условия миграции ПАУ в пределах реки (станция За, далее ст. За и т.д. [4; 5]) представлены следующим барьером: границы-разделы «снег — лед», «вода — лед», «вода — дно»; границы-барьеры «лед (нижняя кромка) — лед (верхняя кромка)», «вода (глубины 0,0—5,0 м) — вода (глубины 5,0—14,0 м)» (рис. 3).

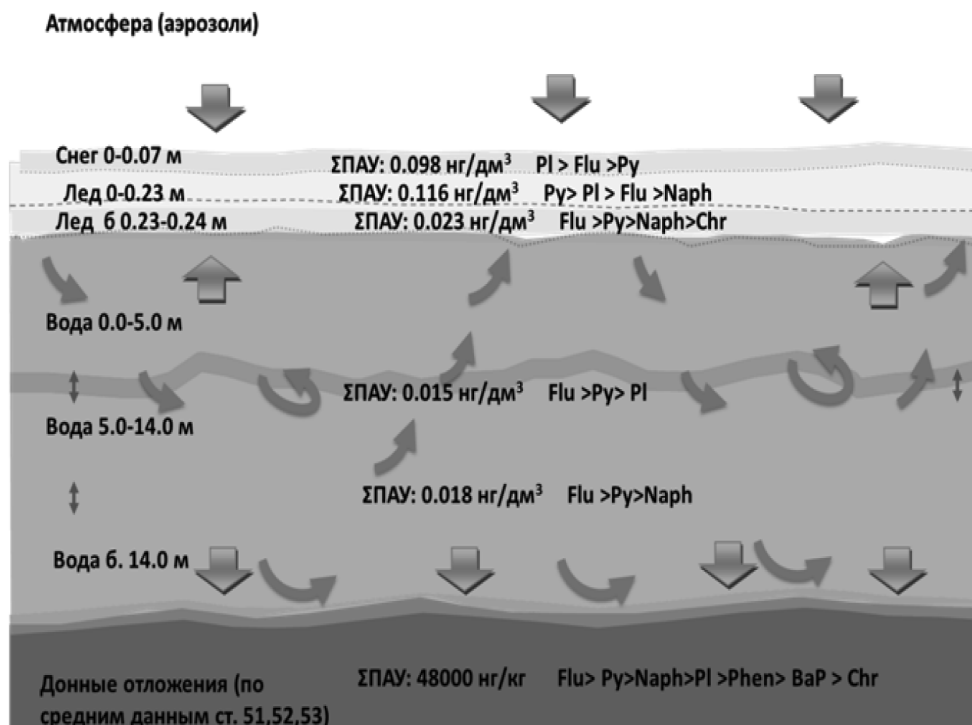


Рис. 3. Структура потоков миграции ПАУ на геохимических барьерах в условиях реки

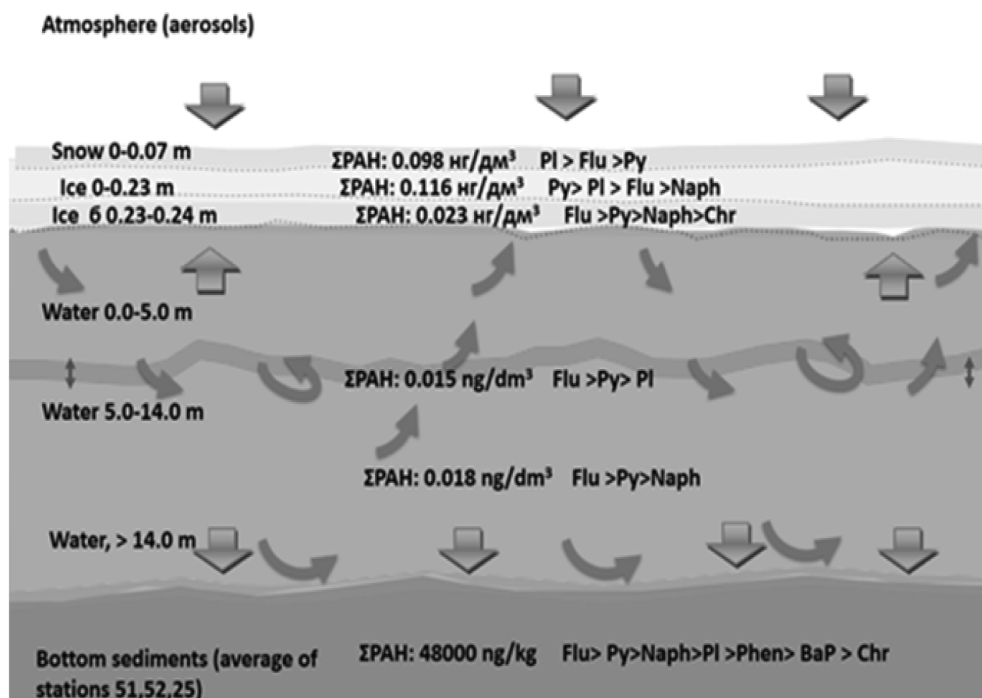


Fig. 3. Structure of PAH migration flows on geochemical barriers in river conditions

Максимальное содержание суммы ПАУ зафиксировано в донных отложениях (47 800 нг/кг), минимальное — в речных водах — до 0,015 нг/дм<sup>3</sup>. Интенсивность потоков (судя по коэффициентам накопления) образовала такую последовательность (по ΣПАУ): вода — дно > лед низ — лед верх > снег—лед верх > вода (5 м) — лед низ > вода (14 м) — вода (5 м). В условиях турбулентности потока речных вод такая модель интенсивности потоков ПАУ вполне оправдана. Низкие значения суммы ПАУ в потоке обусловлены, во-первых, его изоляцией от внешних загрязнителей снеговым и ледовым покровом; во-вторых — преимущественным питанием подземных вод, защищенных от аэрогенного загрязнения. Более высокие концентрации ПАУ в снеге (0,098 нг/дм<sup>3</sup>) и в верхней кромке льда (ΣПАУ 0,116 нг/дм<sup>3</sup>) обусловлены привнесением ПАУ с аэрозолями.

По сравнению с нижней кромкой льда разница ΣПАУ довольно существенна, что может быть объяснено временем льдообразования. Верхняя кромка льда сформирована в начале ноября из относительно загрязненных вод поверхностного генезиса. Подтверждение этому — химический состав ПАУ с преобладанием Ру, что свидетельствует о пирогенном характере и терригенных источниках. В то же время, характеристики нижней кромки льда указывают на тесную генетическую близость состава ПАУ и их концентраций к химическому составу вод реки (ΣПАУ 0,023 нг/дм<sup>3</sup>).

Миграция ПАУ на границах-разделах носит избирательный характер. Так, при доминировании в снеге Pl, Flu, Ру в верхнюю кромку льда перешли и кинетические арены (Flu, An), и нафталин, по своему поведению близкий к ним, и термодинамические (Phen, Ру). На границе раздела «вода — лед» активные мигранты кинетического характера (природы) проявились более контрастно в виде следующей цепочки (по интенсивности): An > Naph > BaP > Chr > Phen > Fl.

Такие существенные различия на границах разделах криогенной формации нельзя объяснить только АМС. Скорее всего, это связано с фазовыми переходами субстанций на ГХБ с четкими границами, где происходит перестройка ассоциаций ПАУ.

Миграция столь мощной ассоциации ПАУ в условиях реки от нижней кромки льда к верхней в направлении отрицательного градиента концентраций может быть обусловлена пульсационным характером взаимодействия на барьере «вода — лед». Энергетика таких взаимодействий создает консервативные эффекты. С позиций синергетики при определенных условиях в пределах нижней кромки льда формируются регулярные динамические структуры колебательных генераций — аттракторы. В условиях монолитного ледяного покрова такие центры дают «толчок» миграции выборочных ПАУ, переводя их из растворенных форм в газовую фазу. При этом создаются специфичные ассоциации ПАУ для разных фаз УВ и воды.

Таким образом, гетерогенная система «вода — пар — лед» формирует свои ассоциации ПАУ, которые приобретают свойства мобильности, а УВ-поле имеет различные генетические источники с переменной интенсивностью потоков веществ. Поэтому даже в таком, казалось бы, монолитном и трудно проницаемом барьере, как ледяной покров, создаются своеобразные УВ-поля с вертикальной и горизонтальной дисперсией ПАУ стохастической природы. В пределах взаи-

модействия активных диссипаторов (в нашем случае это вода) и пассивных средмишеней (льды, донные отложения, другие субстанции, контактирующие с водой), трудно ожидать относительно однородных полей с выдержанными концентрациями.

На основе использования ПАУ в качестве индикаторов, можно сделать важный вывод: ледяной покров в период ледостава на реках за счет пульсации потоков и взаимодействия с уже сформировавшимся льдом формирует *собственную ассоциацию мигрантов*, отличную от доминирующей в водной среде. По мнению автора, кристаллические структуры льда формируют более благоприятные условия для проникновения 2—4 кольцевых ПАУ, чем для тяжелых.

Ледяной покров с позиций синергетики представляет собой *метаморфозу активной среды, способной к пространственно-временной самоорганизации, которая в процессе гомофазной эволюции может принимать нечеткие формы границ за счет неравновесности взаимодействующих процессов*. Последнее свойство выражено в переходе от пространственных границ к временным ограничениям потоков вещества и энергии. Поэтому геохимические барьеры отчетливо идентифицируются сменой доминантов изомеров ПАУ не только при фазовых переходах на границах-разделах, но и на границах-барьерах. Данный тезис наглядно отражен на рисунке 3 и хорошо иллюстрирует, что миграционные ряды на ГХБ в пределах участка реки для экстремальных условий могут быть представлены и низкоконденсированными, и высококонденсированными ПАУ. Так, в системе «снег — лед» это Naph, Phen, Py, Flu; в системе «вода — лед» — An, Naph, BaP, Chr и др.

При взаимодействии в системе превращения аэрозолей в криозоли в пределах близкого влияния источника загрязнения (ст. 3а в районе г. Архангельска) получен следующий ряд КК: Naph (5,57) > Phen (3,00) > Py (2,83) > Flu (1,57). С точки зрения взаимодействия снежной и ледяной фаз полученные значения указывают на относительную «свежесть» и меньшую нагрузку загрязнения ( $\Sigma$ ПАУ всего 98,1 нг/дм<sup>3</sup>, что примерно в 2 раза ниже, чем в снеге на ст. 2а). По индивидуальным показателям такой ряд свидетельствует о возможности перехода в лед из снега всего комплекса техногенных ПАУ за исключением P1 (он идентифицируется как природный ПАУ). Максимальные содержания P1 зафиксированы в снеге (58,4 нг/дм<sup>3</sup>), затем следуют Flu (15,3), Py (13,2) и Chr (8,09). Парадоксально, но для данной станции зафиксировано отсутствие в снеге бенз(а)пирена и бензперилена — типичных продуктов сгорания УВ. Максимальные содержания P1 могут свидетельствовать о превалировании природных процессов атмосферного загрязнения.

В пределах водной толщи, учитывая незначительную разницу суммы ПАУ и их однородный состав, можно уверенно утверждать *об отсутствии стратификации водных масс в условиях реки*. Незначительная дифференциация и направленность потоков ПАУ носит условный характер и объяснима точностью методики определения их индивидуальных концентраций

По сумме осредненных ПАУ для различных участков (47,8 мкг/кг) кардинально отличны от других фазовых сред участка реки донные отложения, выступающие *«депонирующей средой»*. Согласно существующим нормативам такие концентрации соответствуют *очень опасному уровню загрязнения*, а расчеты маркерных

соотношений указывают на его смешанную природу (нефтяной, и пирогенный характер).

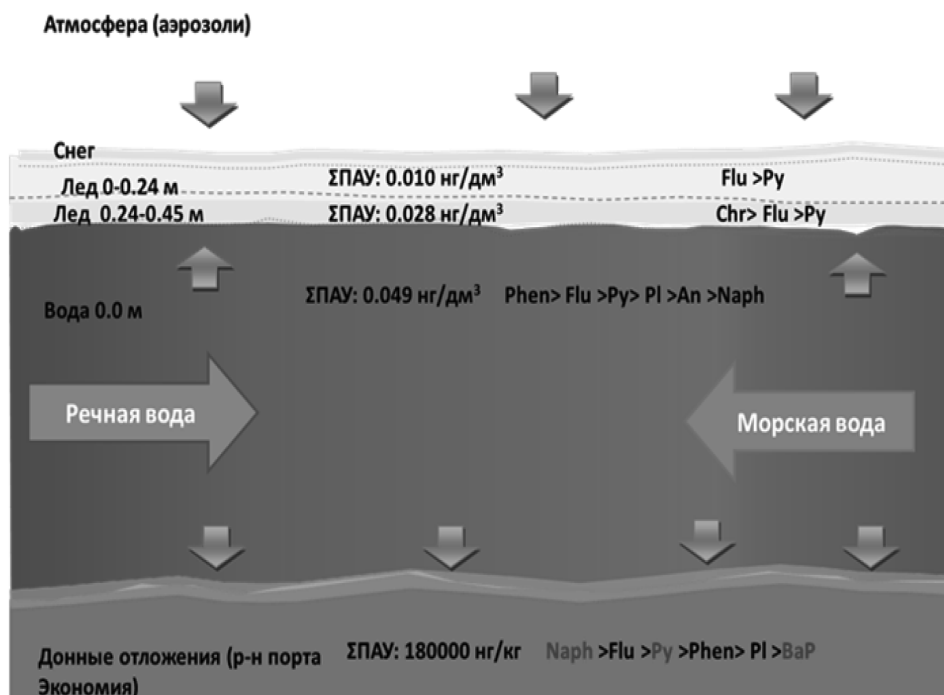
В рядах миграции на барьере «вода — донные отложения» лидерство прочно удерживают Phen, Py и Naph, что указывает на идентичность состава придонных вод и активном водообмене между данными компонентами аквальной системы реки. Два последних ПАУ обязаны техногенному поступлению продуктов выбросов судов и сгорания топлива. В целом для данного барьера можно говорить о типоморфности и парагенезисе ПАУ.

**Аквальная система маргинального фильтра: гравитационная физико-химическая зона взаимодействия морских и речных вод.** В маргинальном фильтре роль этой зоны в преобразовании потоков вещества в количественном и качественном ракурсах является *генеральной*. Следуя А.П. Лисицину, она обязана процессам взаимодействия пресных и солоноватых вод, особенно в начале зоны (при солёности 1—5‰). Здесь концентрация взвеси выше, чем в конечных областях смешения речных и морских вод с интенсивным развитием процессов коагуляции и флоккуляции, что способствует активному переходу РОВ из раствора во взвесь.

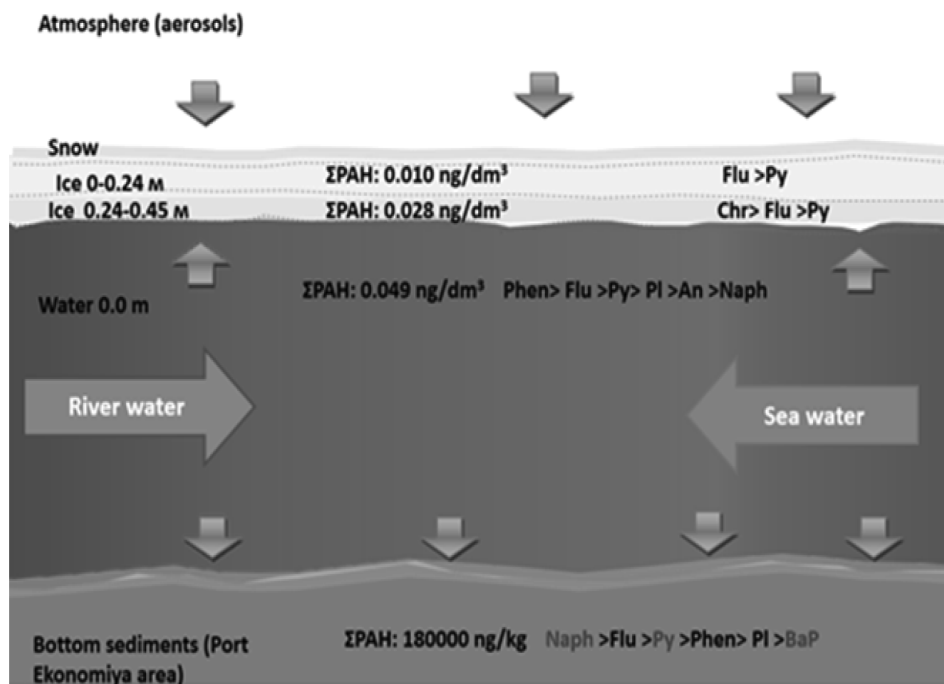
Для ст. 11, находящейся на одной из устьевых протоков Сев. Двины, все КК для нижней и верхней кромок льда были ниже 1, что косвенно свидетельствует о принципиально иной природе его формирования. Лед здесь сформирован речными водами в условиях подпора с резким замедлением скоростей течения реки и, следовательно, увеличением времени взаимодействия свежих порций вод с ледовой фазой. Лед, судя по составу ПАУ, подвержен интенсивному загрязнению преимущественно пирогенной природы. По величинам КК можно представить следующий ряд интенсивности миграции с системе «*нижняя* → *верхняя кромка льда*»: ВаР (1,43) > Naph (0,84) > An (0,73) > Phen (0,67) > Flu (0,57) > Py (0,51) > Pl (0,50) > Chr (0,02). Данный ряд наглядно отражает приведенные ранее доводы. В частности, относительно хорошо растворимые в воде Naph, Py, Pl и Flu извлекаются из растворенных форм взвешенными частицами с дальнейшим погружением на дно и становятся мало доступными для участия в криообразованиях (рис. 4).

К *пассивным аренам* в условиях их миграции «*нижняя* → *верхняя кромка льда*» уверенно относится Chr для всех разновидностей гидрологических условий полигона в формирования ледяного покрова.

Более устойчивые и разнообразные потоки ПАУ выявляются в системе «вода — дно». Одновременно с ростом ΣПАУ в донных отложениях до 180 мкг/кг значительно расширяется их спектр. Этому способствует увеличение времени контакта между средами вследствие подпора, изменения химического состава переходной зоны за счет смешивания речных и морских вод, а главное — за счет снижения скоростей течения. Именно взвеси формируют поток ПАУ, оседающий на дно и образующий верхний слой отложений, насыщенный влагой. Отметим, что комплекс ПАУ в этом потоке значительно отличается от состава комплекса в воде. Это доказывает, что происходит *соосаждение ПАУ преимущественно с участием взвесей, а сам процесс является доминирующим в преобразовании исходного состава ПАУ в воде.*



**Рис. 4.** Схематизация взаимодействия ПАУ на ГХБ, ст. 11, гравитационная и физико-химическая зоны маргинального фильтра



**Fig. 4.** Schematization of PAH interaction on the geochemical barrier, station 11, the gravitational and physicochemical zones of the marginal filter

Резюмируя, по стадиям в зонах гравитации и физико-химического взаимодействия маргинального фильтра, можно отметить следующие закономерности.

— Потоки ПАУ по составу существенно различаются на геохимических границах-разделах и границах барьерах.

— В пределах барьера «снег-лед» активны потоки преимущественно техногенных ПАУ, за счет аэрозолей с преобладанием Flu, Py и Naph.

— В нижней части льда при взаимодействии с водой происходит увеличение ΣПАУ за счет более длительного времени контакта и стабильного льдообразования, что приводит к накоплению Chr.

— Между нижней и верхней кромками для ст. 11 выявлен лишь один активный мигрант — BaP, что свидетельствует о его высоких потенциальных способностях избирательно мигрировать внутри границ-барьеров.

— При данной геохимической обстановке поток ПАУ с водной поверхности в лед формирует специфические ассоциации полиаренов с представителем практически всех ПАУ. Однако не все они «усваиваются» льдом. Возможно, часть их поглощается биотой на границе барьера.

— Вода между льдом и дном формирует специфический состав ПАУ с преобладанием Flu, Phen, Py, и An. Такое сочетание полиаренов указывает на возможное формирование нестратифицированных толщ воды с присутствием природных и техногенных ПАУ.

— Поток ПАУ в донные отложения существенно отличен от их комбинации в растворенной форме, что свидетельствует о потенциальной способности фракционирования на взвесах как органогенного, так и механического состава. Доминирующая роль в этом потоке отводится Naph, BaP, Flu и Chr. Это преимущественно техногенные ПАУ; они активно переводятся при благоприятных гидродинамических и физико-химических обстановках в депонирующую среду с последующим накоплением.

— Именно в гравитационной зоне маргинального фильтра зафиксировано максимальное содержание взвесей с сорбированными на них ПАУ, что позволяет оценивать размеры этой зоны и динамику соосаждения частиц в зависимости от взаимодействия реки с морем в различные фазы гидрологического режима.

Таким образом, формируется следующий ряд интенсивности потоков (по ΣПАУ): «вода—дно» > «лед низ — лед верх» ≈ «вода 0 м» — «лед низ» ?? «снег — лед верх».

**Выводы.** С современных позиций ГХБ рассматриваются как самоорганизующиеся компоненты ГХС, в которых происходит активизация физико-химических процессов, приводящая к трансформации АМС, химических ассоциаций и отдельных химических элементов под действием активных сред (процессов). Они могут быть определяющим феноменом возникновения и эволюции ГХС.

С позиций геоэкологии и геохимии представление о допустимости антропогенных нагрузок на природные системы и их нормировании невозможно без учета роли ГХБ в миграции и трансформации загрязнителей. Прогнозирование поведения контролируемых загрязнителей в окружающей среде во многом основано на анализе их поведения на барьерах, способности преодолеть их или



задерживаться, накапливая постепенно концентрации, вплоть до недопустимых уровней.

В качестве информативных показателей геохимических процессов, происходящих на барьерах и их идентификации (в том числе при изучении загрязнения сред) могут быть ПАУ. Их роль как маркеров геохимических барьеров различных порядков и генезиса определяется репрезентативностью и поведения в различных средах (естественные, техногенные).

Геохимические барьеры в настоящее время являются активными практическими технологиями по очистке и защите грунтов, подземных и поверхностных вод и в целом геологической среды.

В этой связи необходимы детализация и уточнение самого понятия «геохимический барьер», а также построение моделей поведения веществ, приоритетных реабилитации и контроля компонентов природной среды.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Глазовская М.А. Геохимические барьеры в почвах: типология, функциональные особенности и экологическое значение. В кн.: Геохимия ландшафтов и география почв. 100 лет со дня рождения М.А. Глазовской / под ред. Н.С. Касимова, М.И. Герасимовой. М.: АПР, 2012. С. 26—44.
- [2] Касимов Н.С., Борисенко Е.Н. Становление и развитие учения о геохимических барьерах / Геохимические барьеры в зоне гипергенеза. М.: МГУ, 2002. С. 6—37.
- [3] Лисицын А.П. Маргинальный фильтр океанов // Океанология. 1994. Т. 34. № 5. С. 735—747.
- [4] Немировская И.А. Углеводороды в океане (снег — лед — вода — взвесь — донные осадки). М.: Научный Мир, 2004. 328 с.
- [5] Немировская И.А. Нефть в океане. Загрязнение и природные потоки. М.: Научный мир, 2013. 456 с.
- [6] Николис Дж. Динамика иерархических систем. Эволюционное представление. М.: Мир, 1989. 488 с.
- [7] Опекунов А.Ю. Экологическая седиментология: учеб. пособие. СПб.: Изд-во С.-Пб. ун-та, 2012. 224 с.
- [8] Перельман А.И. Геохимический ландшафт как самоорганизующаяся система // Вестник Моск. ун-та. Сер. 5. География. 1996. № 3. С. 10—16.
- [9] Перельман А.И. Геохимия ландшафта. М.: Высшая школа, 1975. 342 с.
- [10] Пригожин И., Николис Г. Познание сложного. М.: Мир, 1990. 344 с.
- [11] Хакен Г. Синергетика. М.: Мир, 1980. 406 с.
- [12] Хаустов А.П. Геологические неоднородности — фундаментальный элемент гетерогенных систем (технологический аспект) // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2006. № 6. С. 1—11.
- [13] Хаустов А.П. Техногенные системы как феномен самоорганизации материи (на примере загрязнения геологической среды углеводородами) // Литосфера. 2014. № 1. С. 105—116.
- [14] Хаустов А.П. Техногенная геохимическая зональность углеводородов как продукт биотрансформации // Известия вузов. Геология и разведка. 2016. № 1. С. 106—110.
- [15] Хаустов А.П. Геохимические барьеры с позиций синергетики (семантический анализ) / Геохимия ландшафтов (к 100-летию А.И. Перельмана). Докл. Всерос. научн. конф. Москва, 18—20 октября 2016 г. М.: Географ. фак. МГУ, 2016. С. 64—67.
- [16] Чеников И.В. Химия и физика нефти: учеб. пособие. Краснодар: Изд-во Куб. ГТУ, 2010. 293 с.

© Хаустов А.П., 2017

**История статьи:**

Дата поступления в редакцию: 25.07.2017

Дата принятия к печати: 28.08.2017

**Для цитирования:**

Хаустов А.П. Геохимические барьеры как форма самоорганизации естественных геосистем // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2017. Т. 25. № 3. С. 396—413. DOI 10.22363/2313-2310-2017-25-3-396-413

**Сведения об авторе:**

Хаустов Александр Петрович — доктор геол.-мин. наук, профессор, профессор кафедры прикладной экологии Российского университета дружбы народов, Заслуженный работник высшей школы Российской Федерации. E-mail: khaustov\_ap@rudn.university

## **GEOCHEMICAL BARRIERS AS FORMS OF GEOSYSTEMS' SELF-ORGANIZATION**

**A.P. Khaustov**

Department of Applied Ecology  
Federal Autonomous Educational Institution of Higher Education  
Peoples' Friendship University of Russia  
Podolskoe shosse, 8/5, Moscow, Russia, 115093

In article the attempt is done to estimate the functional role of geochemical barriers (GCB) in relation to properties and evolution of geochemical systems (GCS) becomes. The methodological base is fundamentals of Haken' synergetics, the idea of self-organization of systems and nonequilibrium (non-linear) thermodynamics of I. Prigozhin and his school.

From the author's positions GCB are considered as the self-organized components of GCS in which an activation of physical and chemical processes is observed. It is leading to transformation of atomic molecular structures, chemical associations and separate chemical elements under the influence of the active medium (processes). They can be the defining phenomenon of emergence and evolution of geochemical systems.

From the position of geoecology and geochemistry the estimation of permissible anthropogenic load on natural systems and its rationing are impossible without realizing the GCB role in migration and transformation of pollutants.

The concept of geochemical barriers is the basis for actively applied in practice technologies for cleaning and protecting soils, underground and surface waters and the whole geological environment.

**Key words:** geochemical barriers, synergetics, self-organization, the active medium, thermodynamics, polycyclic aromatic hydrocarbons, markers

### **REFERENCES**

- [1] Glazovskaya M.A. *Geokhimicheskiye bariery v pochvakh: tipologiya, funktsionalnye svoystva i ekologicheskoye znachenie* [Geochemical barriers in soils: typology, the functional features and ecological value]. In book: Geochemistry of landscapes and geography of soils. 100 years since the birth of M.A. Glazovskaya / Edited by N.S. Kasimov, M.I. Gerasimova. Moscow: APR Pbl., 2012. Pp. 26—44. (In Russ.)

- [2] Kasimov N.S., Borisenko E.N. *Formirovanie i razvitie ucheniya o geokhimicheskikh barierah* [Formation and development of the geochemical barriers study]. Geochemical barriers in a hypergenesis zone. Moscow: MSU Publ., 2002. Pp. 6—37. (In Russ.)
- [3] Lisitsyn A.P. Marginal filter of oceans. *Okeanologiya*. 1994. Vol. 34. No. 5. Pp. 735—747. (In Russ.)
- [4] Nemirovskaya I.A. *Uglevodorody v okeane (sneg — led — voda — vzvesi — donnye otlozheniya)* [Hydrocarbons in the ocean (snow — ice — water — suspension — bottom deposits)]. Moscow: Scientific World Publ., 2004. 328 p. (In Russ.)
- [5] Nemirovskaya I.A. *Neft' v okeane. Zagryazneniye i prirodnye potoki* [Oil in the ocean. Pollution and natural streams]. Moscow: Scientific world Publ., 2013. 456 p. (In Russ.)
- [6] Nikolis Dzh. *Dinamika ierarchicheskikh system. Evolutsionnye idei* [Dynamics of hierarchical systems. Evolutionary ideas]. Moscow: Mir Publ., 1989. 488 p. (In Russ.)
- [7] Opekunov A.Yu. *Ekologicheskaya sedimentologiya* [Ecological sedimentology]. Saint Petersburg: Saint Petersburg Publ., 2012. 224 p. (In Russ.)
- [8] Perel'man A.I. Geokhimicheskii landshaft kak samoorganizuyushchayasya Sistema [Geochemical landscape as a self-organizing system]. *Vestnik Moskovskogo Universiteta. Seriya 5 Geografiya*. 1995. No. 4. Pp. 10—16. (in Russ.)
- [9] Perel'man A.I. *Geokhimiya landshafta* [Geochemistry of the landscape]. Moscow: Vysshaya shkola publ., 1975. 342 p. (in Russ.)
- [10] Prigozhin I., Nikolis G. Prigozhin I., Nikolis G. *Poznaniye slozhnogo* [Exploring complexity]. Moscow: Mir Publ., 1990. 344 p. (in Russ.)
- [11] Haken G. *Sinergetika* [Synergetics]. Moscow: Mir Publ., 1980. 406 p. (In Russ.)
- [12] Khaustov A.P. Geological irregularities — a fundamental element of heterogeneous systems (technological aspect). *Geokologiya. Inzhenernaya geologiya, gidrogeologiya, geokriologiya*. 2006. No. 6. Pp. 1—11. (In Russ.)
- [13] Khaustov A.P. Technogenic systems as substance self-organization phenomenon (on the example of hydrocarbons pollution of the geological environment). *Litosfera*. 2014. No. 1. Pp. 105—116. (In Russ.)
- [14] Khaustov A.P. Technogenic geochemical zonality of hydrocarbons as a biotransformation product. *Izvestiya vyzov. Geologiya i razvedka*. 2016. No. 1. Pp. 106—110. (In Russ.)
- [15] Khaustov A.P. Geochemical barriers from synergetics positions (the semantic analysis). Geochemistry of landscapes (to A.I. Perelman's 100 anniversary). Vserossiyskaya nauchnaya konferenciya v Moskve [Report at The All-Russian Scientific Conference in Moscow]. Moscow, October 18—20, 2016. Moscow: Geography Faculty of the MSU Publ., 2016. Pp. 64—67.
- [16] Chenikov I.V. *Khimiya i fizika nefi* [Chemistry and physics of petroleum]. Krasnodar: Kuban State Technological University Publ., 2010. 293 p.

#### Article history:

Received: 25.07.2017

Revised: 28.08.2017

#### For citation:

**Khaustov A.P. (2017) Geochemical barriers as forms of geosystems' self-organization. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*, 25 (3), 396—413. DOI 10.22363/2313-2310-2017-25-3-396-413**

#### Bio Note:

*Khaustov Alexander Petrovich* — Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor, Professor of the Department of Applied Ecology of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education “Peoples' Friendship University of Russia”, Honored Worker of the Higher School of the Russian Federation. E-mail: khaustov\_ap@rudn.university



DOI 10.22363/2313-2310-2017-25-3-414-430

УДК 615.7

## О НЕОБХОДИМОСТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ КОНТРОЛЯ БЕЗОПАСНОСТИ И КАЧЕСТВА ЭКСТРАКТОВ ИЗ ЛИСТЬЕВ ГИНКГО БИЛОБА

В.Г. Васильев, Г.А. Калабин, Букаса Митео Иван, Д.Д. Рудачевский

Российский университет дружбы народов  
ул. Миклухо-Маклая, 6, Москва, Россия, 117198

Вопрос экспертизы безопасности и качества природных пищевых добавок и лекарственных средств рассмотрен на примере экстрактов из листьев гинкго билоба — ноотропа, наиболее популярного в мире как по объему потребления и научному интересу. Охарактеризованы требования к составу препаратов и методы их контроля. Предложена новая оригинальная методология определения методом ЯМР  $^1\text{H}$  содержания в коммерческих препаратах отдельных терпеновых лактонов, флавоногликозидов различных групп и их агликонов. Выявлен ряд фальсифицированных и/или низкокачественных препаратов. Предложены пути совершенствования их экспертизы, включающие определение содержания минорных компонентов.

**Ключевые слова:** гинкго билоба (ГБ), биологически активные добавки (БАД), лекарственные средства (ЛС), спектроскопия ЯМР, контроль качества, подлинность, флавоногликозиды (ФГ), терпеновые лактоны (ТЛ), гинкголевые кислоты (ГК), гинкготоксины (ГТ)

### Введение

Оборот опасной для жизни человека фальсифицированной и контрафактной продукции, в частности, продуктов питания, пищевых добавок с биологически активными композициями природного происхождения, лекарственных средств в последние годы в России не уменьшается, как следует из информационных бюллетеней Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ). Принятие ряда Федеральных законов («Об обращении лекарственных средств» от 12.04.2016 г. № 61-ФЗ с изменениями от 22.12.2014 г. № 429-ФЗ; «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в части противодействия оборота фальсифицированных лекарственных средств, медицинских изделий и фальсифицированных биологически активных добавок; от 31.12.2014 г. 2532-ФЗ) и вступление в действие с 01.01.2016 г. Государственной фармакопеи РФ Издание XIII (ГФ XIII), в которую вошло много новых методов контроля ЛС, возможно улучшат ситуацию. Однако для многих ЛС и БАДов она остается критической, поскольку соответствующие частные статьи ГФ XIII для многих ЛС несовершенны, а контроль БАДов, осуществляемый аккредитованными Роспотребнадзором организациями, недостаточно эффективен. При регистрации новых БАДов для выхода на потребительский рынок достаточно минимального контро-

ля состава (соответствия требованиям по содержанию радиоактивных изотопов, тяжелых металлов, пестицидов, микробиологической безопасности). Многочисленные угрозы здоровью обусловлены использованием в БАДах недеklarированных синтетических или чужеродных природных компонентов, присутствием неконтролируемых токсинов, безосновательными медицинскими рекомендациями и отсутствием информации о противопоказаниях.

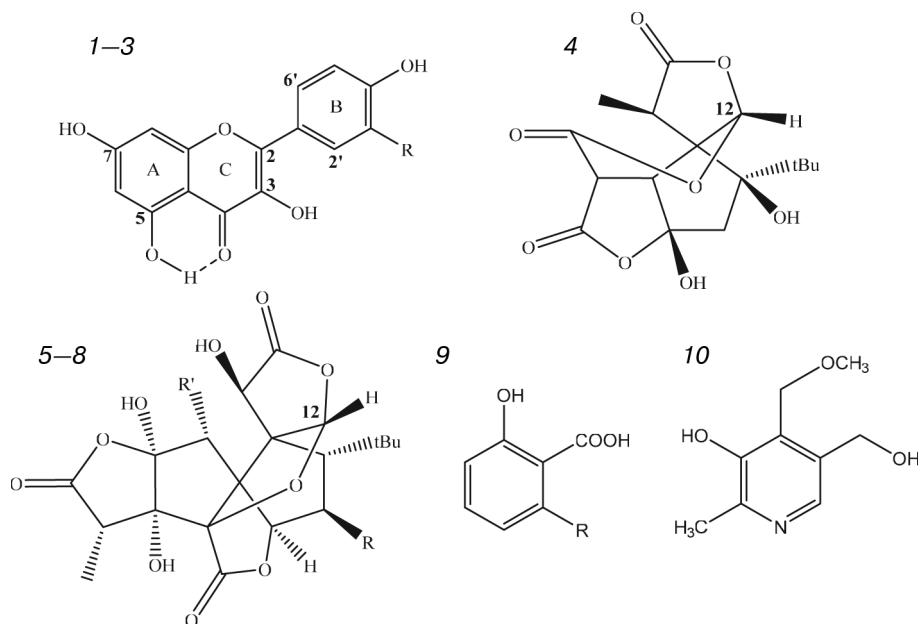
**Сложившаяся ситуация в РФ** и некоторые пути ее улучшения на примере наиболее популярного природного ноотропа — экстрактов из листьев гинкго билоба, производимого в форме ЛС, так и БАД.

Гинкго билоба (*Ginkgo biloba*) — реликтовое голосемянное двудомное растение, единственный сохранившийся представитель класса Гинкговых, листопадное дерево высотой до 40 м, произрастающее в диком виде на востоке Китая. Следы этого уникального растения — «живого ископаемого» [1] обнаружены на каменных отпечатках мелового и юрского периодов, т.е. оно существует около 200 млн лет [2]. В традиционной медицине Китая используется около 5 тыс. лет, более 800 лет назад интродуцировано в Японии, около 200—300 лет назад — в Европе и Северной Америке. Лекарственные препараты в форме экстрактов из листьев ГБ используются для профилактики церебральной недостаточности, потери памяти, слабоумия, замедления нейродегенеративных расстройств типа болезни Альцгеймера [3], воздействия на сосудистые и метаболические нарушения, неврологическую и поведенческую активность [2], эффективны при гипертензии [4], астме [5], нарушениях слуха [6]. Однако есть исследования, отрицающие его эффективность [7,8], что, возможно, обусловлено ненадлежащей технологией изготовления препаратов, т.е. присутствием в них нежелательных компонентов, в первую очередь гинголевых кислот и/или гинкготоксина.

Популярность ЛС и БАД на основе экстрактов из листьев ГБ на мировом рынке можно оценить по объему их продаж. Например, в Германии он ежегодно составляет в последние годы 400 и более млн евро [9]. Подобных сведений для России найти не удалось, хотя по данным из Интернета следует, что на российском рынке предлагается более 30 различных препаратов, являющихся лекарствами (например, «Танакан» или «Гинкгоум») или парафармацевтиками.

Наиболее объективный показатель мирового интереса к экстрактам ГБ — постоянно возрастающий поток научных исследований. За последние 15 лет опубликовано более 2000 статей, посвященных химии, фармакологии, клиническим испытаниям, безопасности, методам контроля качества экстрактов ГБ, в том числе около 30 обзоров, цитируемых в работе [10]. Пик активности пришелся на 2006—2007 гг., когда было опубликовано или заявлено 1930 статей и патентов, т.е. более двух ежедневно. Основная их цель — химический анализ, контроль качества и лекарственные свойства листьев, экстрактов и фитофармацевтических препаратов из ГБ, в которых содержатся сотни соединений — флавоногликозидов, терпеновых лактонов, изофлавоноидов, бифлавонов, алкилфенолов, проантоцианидинов, карбоновых кислот, полипренолов [11]. Доказанной во многих исследованиях медицинской эффективностью обладают ФГ и ТЛ, улучшающие циркуляцию крови в периферической и центральной системе. Неразделенный, т.е. полный водно-этанольный экстракт из листьев ГБ содержит большое разно-

образии флавоногликозидов (более 100), имеющих от одного до трех углеводных остатков и их ацилированных производных, агликонами которых преимущественно являются кверцетин (1), кемпферол (2) и изорамнетин (3). Состав доминирующих ТЛ включает билобалид (4) и четыре гинкголида — А, В, С и J (5–8). Структурные формулы агликонов ГФ и этих ТЛ представлены на рисунке 1.



**Рис. 1.** Структурные формулы: 1 — кверцетина ( $R = OH$ ); 2 — кемпферола ( $R = H$ ); 3 — изорамнетина ( $R = OCH_3$ ); 4 — билобалида; 5 — гинкголида А (ГА) ( $R' = H, R = H$ ); 6 — гинкголида В (ГБ) ( $R' = OH, R = H$ ); 7 — гинкголида С (ГС) ( $R' = OH, R = OH$ ); 8 — гинкголида J (ГJ) ( $R' = H, R = OH$ ); 9 — гинкголевые кислоты ( $R = C_{13}H_{27}(C13:0), C_{15}H_{31}(C15:0), C_{15}H_{29}(C15:1), C_{17}H_{33}(C17:1)$  или  $C_{17}H_{31}(C17:2)$ ); 10 — гинкготоксин

**(Fig. 1.** Structural formulas of: 1 — quercetin ( $R_1 = OH$ ); 2 — kaempferol ( $R_1 = H$ ); 3 — isorahmnetin ( $R_1 = OCH_3$ ); 4 — bilobalide; 5 — ginkgolide A (GA) ( $R_1 = H, R_2 = H$ ); 6 — ginkgolide B (GB) ( $R_1 = OH, R_2 = H$ ); 7 — ginkgolide C (GC) ( $R_1 = OH, R_2 = OH$ ); 8 — ginkgolide J (GJ) ( $R_1 = H, R_2 = OH$ ); 9 — ginkgolic acids ( $R = C_{13}H_{27}(C13:0), C_{15}H_{31}(C15:0), C_{15}H_{29}(C15:1), C_{17}H_{33}(C17:1)$  or  $C_{17}H_{31}(C17:2)$ ); 10 — ginkgotoxin

Кроме них полный экстракт содержит много других компонент, среди которых наибольшее внимание заслужили гинкголевые кислоты, строение доминирующих представителей которых также представлены на рисунке 1. Если содержание ФГ и ТЛ в листьях ГБ составляет около 0,5 и 0,1%, соответственно, то содержание ГК во много раз больше (до 2%). В обзоре [11] охарактеризованы положительные и отрицательные свойства этих кислот. Среди положительных — противораковые, противострессовые, противодепрессивные, антигрибковые, инсектицидные. Среди отрицательных — аллергические, цитотоксические, эмбриотоксические, иммунотоксические, мутагенные, слабые нейротоксические. Последние обуславливают требование практического отсутствия этих кислот в составе ЛС и БАДов, что нормировано в фармакопеях США, Европы и Китая.

Полный водно-спиртовой экстракт из листьев ГБ используется для детального изучения его состава, который значительно варьируется от условий культивирования и возраста деревьев, климата и времени сбора сырья [12; 13]. Поэтому

он не нормируется по содержанию компонентов. Для производства ЛС и БАДов, напротив, используют стандартизированные экстракты, свойства и состав которых нормированы для обеспечения дозирования приема. Примерные требования к ним представлены в таблице 1.

Таблица 1

**Примерные требования для стандартизированного экстракта гинкго билоба [11]**

Описание	Коричневый порошок с характеристичным запахом
Идентификация	Зелено-коричневый цвет после добавление $\text{FeCl}_3$ к 0,1% раствору в смеси этанол : вода (1:1)
Тяжелые металлы	Не более 20 м.д.
Мышьяк	Не более 2 м.д.
Гинголевые кислоты	Не более 5 м.д. (ВЭЖХ/УФ)
Потеря при высушивании	Не более 5,0% (80 °С, вакуум)
Содержание золы	Не более 1,0%
Суммарное содержание ФГ	Не менее 24,0% (ВЭЖХ/УФ)
Суммарное содержание ТЛ	Не менее 6,0% (ВЭЖХ/РМ)

Table 1

**Exemplary requirements for a standardized ginkgo biloba extract [11]**

Description	Brown powder with characteristic smell
Identity	Green-brown colour after adding $\text{FeCl}_3$ to a 0,1% solution (g/v) in alcohol-water (1:1)
Heavy metals	Not more than 20 ppm
Arsenic	Not more than 2 ppm
Ginkgolic acid	Not more than 5 ppm (HPLC/UV)
Loss on drying	Not more than 5,0% (80 °C, vacuum)
Residue on ignition	Not more than 0,1%
Total flavonoid content	Not less than 24,0% (HPLC/UV)
Total terpen trilactone content	Not less than 6,0% (HPLC/RI)

Такие экстракты получают различными многоступенчатыми процессами, имеющими целью обогащение продукта ТЛ и ФГ и удаление некоторых других групп веществ (бифлавоны, ГК). Компаундированием экстрактов с разным соотношением ФГ и ТЛ достигается требуемый состав. Производители экстрактов осуществляют его контроль по методикам, изложенным в фармакопеях США, Китая, Европы, требующих стандартных образцов отдельных компонентов. Определяется содержание в экстрактах суммы ФГ, основных ТЛ и остаточных ГК. ФГ определяются после гидролиза экстракта по сумме содержания агликонов — кверцетина, кемпферола и изорамнетина. Измерения выполняются методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) с рефрактометрическим (РМ), ультрафиолетовым (УФ) или масс-спектрометрическим (МС) детектором. При определении гинголевых кислот используют обращено-фазовую ВЭЖХ с УФ-детектированием. Кроме этих трех анализов для выявления фальсифицированных препаратов Фармакопея США [14] предусматривает определение (до гидролиза) содержания в стандартизированном экстракте кверцетина (*I*) и рутина (кверцетин, в котором атом водорода гидроксильной группы у  $\text{C}_3$  замещен на рутинозид). Первого в аутентичном экстракте практически нет, а рутин не является доминирующей компонентой и его содержание обычно не превышает 5% от суммы ФГ.

Кроме того, Фармакопея США предусматривает определение в продукте кислотного гидролиза отношения агликонов (1:2:3), которое ожидается приблизительно равным 1:1:0.1.

Поскольку детальный анализ для оценки содержания около 50% индивидуальных ФГ в стандартизированном экстракте требует наличия большого набора (около 20) стандартных образцов (СО) отдельных флавоногликозидов, используемые ныне подходы (содержание суммы и отношения отдельных агликонов, выявления содержания рутина и кверцетина) недостаточны для надежного доказательства подлинности препаратов, содержащих экстракт ГБ. Что касается Фармакопеи РФ, то в ГФ XIII фармакопейная статья по ГБ введена впервые в 2015 г. (ФС. 2.5.0010.15). Она ограничивается качественным анализом подлинности ЛС методом тонкослойной хроматографии (ТСХ) и спектрофотометрическим количественным определением суммы флавоноидов после гидролиза. Других требований к ЛС, аналогичных другим фармакопеям она не содержит. Это открывает возможность попадания на рынок ЛС и БАДов России любых фальсификатов, именуемых экстрактами из листьев ГБ. Для регистрации БАД Роспотребнадзор использует (неофициальные сведения) метод ВЭЖХ/УФ с определением наличия и соотношения содержания агликонов, а содержание ТЛ и ГК не определяется.

Анализ недавних публикаций показывает, что для рынка экстрактов ГБ характерно очень значительное количество фальсификатов. Они обычно содержат рекомендованное количество подлинных ТЛ, как трудносинтезируемых уникальных компонентов, а ФГ добавляют из «чужого» природного (например, флавоноиды гречихи) или синтетически модифицированного сырья для сокращения расходов на достижение рекомендованного (>24%) содержания ФГ. Так, в работе Буккера и др. [15] методами ТСХ и ЯМР  $^1\text{H}$  установлено, что из 35 препаратов ГБ, приобретенных в магазинах Лондона и через Интернет, 33 содержали либо повышенное количество рутина и/или кверцетина, либо пониженное содержание флавоноидов по сравнению со стандартным образцом. В работе [16], выполненной в США методом ВЭЖХ/УФ установлено, что из серии 18 коммерческих препаратов ГБ три фальсифицировано добавлением рутина, четыре — кверцетина, а один содержал неидентифицированный ФГ. Выявление фальсификации ГБ на рынке Японии (8 образцов из 17) опубликовано в работе [17]. Некоторые подходы к выявлению таких препаратов содержит обзор [10]. Все эти работы выполнены с использованием хроматографических методов и требуют наличия труднодоступных разнообразных СО. Представленные факты обуславливают необходимость проведения жесткого контроля ЛС и БАДов, содержащих экстракты ГБ на рынке РФ независимо от информации, представленной в сопроводительной документации. Для этих целей желательно использовать методы, не требующие СО, отличающиеся простотой пробоподготовки и обладающие большой информативностью. Всем этим требованиям соответствует количественная спектроскопия ЯМР  $^1\text{H}$ , позволяющая без СО и сложной пробоподготовки одновременно идентифицировать состав сложных смесей.



## Материалы и методы

*Объекты.* Исследован ряд ЛС и БАДов на основе экстракта ГБ в форме таблеток и капсул, приобретенных на российском рынке лекарственных средств и парафармацевтиков: I. БАД «Гинкго билоба»; II. ЛС «Гинкгоум»; III. БАД «Острум» (все — продукция ЗАО «Эвалар», Россия); IV. ЛС «Танакан» (IPSEN, Франция); V. БАД «Доппельгерц актив Гинкго Билоба+В1+В2+В6» (QueisserPharma, Германия); VI. БАД «Билобил» (КРКА, Словения); VII. БАД «Гинкго билоба» (ООО «Натурофарм», Россия); VIII. БАД «Гинос» (ПАО «Верофарм», Россия). По информации производителей разовая доза (таблетка или капсула) препаратов I, II, IV, VI, VII, VIII содержит 40 мг экстракта, препарата V — 30 мг и препарата III — 20 мг. Кроме них исследован экстракт из листьев ГБ, любезно предоставленный ЗАО «Эвалар» (IX).

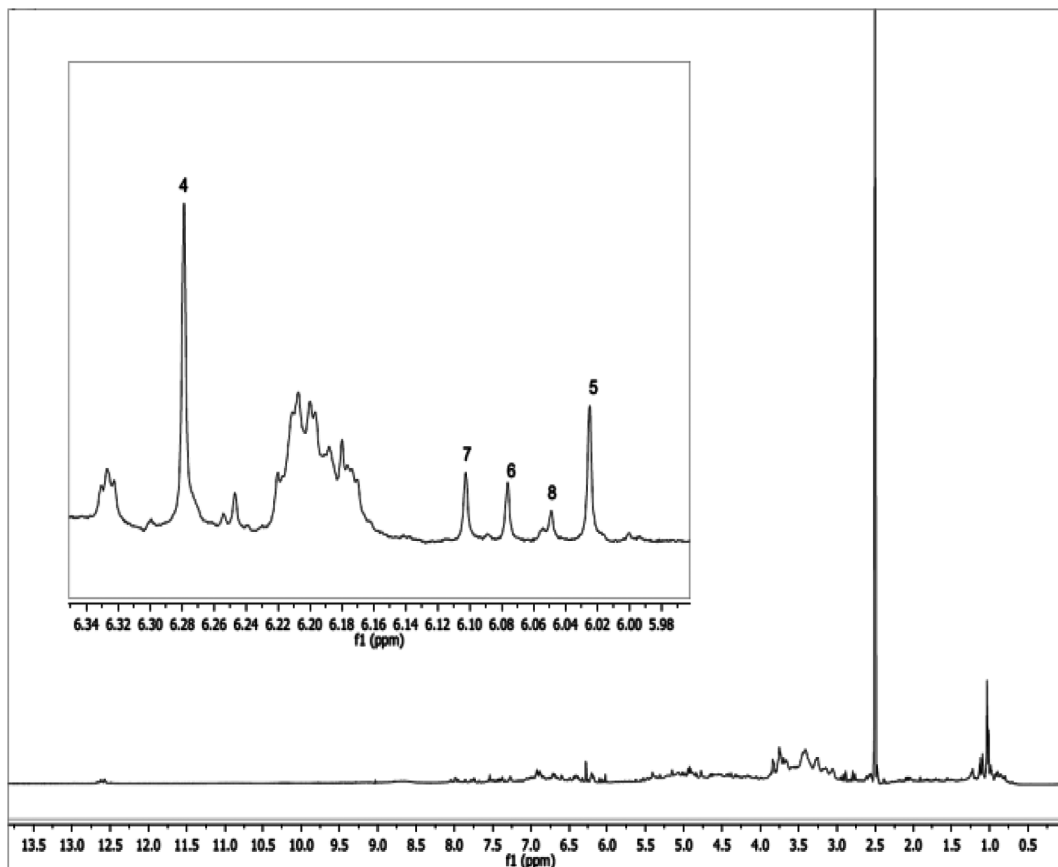
*Пробоподготовка.* Таблетку растирают в ступке до образования порошка, навеску которого, предварительно взвесив (точная навеска), помещают в эппендорф и заливают 1 мл дейтерированного растворителя. Навески содержимого капсул взвешивают (точная навеска), помещают в эппендорф и также заливают 1 мл дейтерированного растворителя. Эппендорфы в течение 10 мин встряхивают на Vortex, 10 мин обрабатывают ультразвуком и на 5 мин помещают в центрифугу (14 000 об/мин). Надосадочную жидкость переносят в стандартную ампулу для ЯМР диаметром 5 мм и регистрируют спектр ЯМР  $^1\text{H}$ . Для каждого препарата готовится три параллельных образца, т.е. три таблетки или капсулы.

*Растворители.* Для регистрации спектров ЯМР  $^1\text{H}$  использованы дейтерированные растворители: ацетон- $\text{d}_6$  (99,9%, Sigma-Aldrich) и ДМСО- $\text{d}_6$  (99,9%, Sigma-Aldrich). Содержание в них изотопомеров ацетона- $\text{d}_5$  и ДМСО- $\text{d}_5$  определялось путем измерения количественных спектров раствора стандартных образцов бензоата натрия и бензойной кислоты в этих растворителях в качестве внутренних эталонов (1 мг в 1 мл ацетона- $\text{d}_6$  и ДМСО- $\text{d}_6$ ). Найдено, что используемый ацетон- $\text{d}_6$  имеет обогащение 99,92%, а ДМСО- $\text{d}_6$  — 99,91. Это несколько выше гарантированного производителем. Знание точного содержания остаточных протонов в выбранных растворителях позволяет использовать в спектре их сигналы  $^1\text{H}$  в качестве сигналов внутреннего стандарта при количественных измерениях содержания компонентов в препаратах.

*Спектры ЯМР  $^1\text{H}$ .* Использован ЯМР высокого разрешения со сверхпроводящим магнитом JNM-ECX (JEOL, Япония) с рабочей частотой для протонов 600 МГц. Условия измерений: импульс —  $90^\circ$ , развертка спектра — 18 м.д., центр спектра — 7 м.д., точек на спектр — 32 К, время считывания сигнала — 3,64 с, время задержки между импульсами — 15 с, количество накоплений — 16, затраты времени на каждый спектр около 5 мин, температура измерений  $23^\circ\text{C}$ . Коррекция фазы и базовой линии проводится автоматически, интегрирование — вручную. Специальными экспериментами с индивидуальными флавоноидами и их добавками в коммерческие препараты установлено, что погрешности определения ТЛ не превышают 0,3%, а ФГ — 0,5%.

### Обсуждение результатов

Спектры ЯМР  $^1\text{H}$  в  $\text{DMSO-d}_6$  гинкголидов впервые были зарегистрированы в работе [18], а билобалида — [19]. Для целей их количественного определения всегда использованы сигналы синглетные протона у С-12, которые в гинкголидах А, J, В, С и в билобалиде имеют химическими сдвиги 6,02, 6,03, 6,07, 6,10 и 6,21 м.д., соответственно.



**Рис. 2.** Спектр ЯМР  $^1\text{H}$  препарата VIII в  $\text{DMSO-d}_6$  и его выделенный фрагмент, содержащий сигналы ТЛ 4—8

**(Fig. 2.**  $^1\text{H}$  NMR spectrum of preparation VIII in  $\text{DMSO-d}_6$  and its isolated fragment containing signals of TL 4—8)

Для определения содержания ТЛ в препаратах I — VIII указанные методики использованы авторами с некоторыми изменениями (выбор внутреннего стандарта, условия регистрации и обработки спада свободной индукции). Количественное содержание отдельных ТЛ определялось сравнением интегральных интенсивностей их сигналов Н-12 и сигнала остаточных протонов (ОП)  $\text{DMSO-d}_5$  (2,5 м.д.) и рассчитывалось по формуле

$$m(\text{ТЛ}) = n(\text{ОП}) \frac{I(\text{ТЛ})}{I(\text{ОП})} M(\text{ТЛ}) \cdot 1000,$$

где  $m$  — масса ТЛ, мг;  $n(\text{ОП})$  — количество вещества ДМСО- $d_6$ , моль;  $I(\text{ТЛ})$  — интегральная интенсивность сигнала Н-12 ТЛ;  $I(\text{ОП})$  — интегральная интенсивность сигнала ОП;  $M(\text{ТЛ})$  — молярная масса ТЛ, г/моль.

Результаты определения содержания ТЛ в изученных препаратах представлены в таблице 2. Суммарное содержание их доли в препаратах I—III и VI близки к показателю для стандартизированного образца, но для IV и VIII существенно ниже.

Все без исключения ФГ, входящие в состав экстрактов ГБ, содержат в положении 5 кольца А гидроксильную группу (5-ОН), а все гликозидные и иные заместители, как правило, располагаются в положениях 3 и/или 7 колец С и А, а также 3' и 4' кольца В.

Таблица 2

**Содержание терпеновых лактонов и флавоногликозидов в препаратах гинкго билоба**

Препарат	ББ, мг	ГА, мг	ГВ, мг	ГС, мг	ГJ, мг	ΣТЛ, мг	ΣТЛ, %	ΣФГ, мг	ΣФГ, %
I	0,9	0,55	0,26	0,25	0,12	2,08	5,2	10,45	26,1
II	0,98	0,65	0,28	0,29	0,17	2,36	5,9	10,45	26,1
III	0,43	0,43	0,17	0,16	0,06	1,26	6,2	5,35	26,8
IV	0,6	0,28	0,14	0,22	0,06	1,29	3,2	9,45	23,6
V	0,59	0,22	0,15	0,2	0,04	1,2	4,0	7,71	25,7
VI	0,95	0,38	0,23	0,4	0,17	2,12	5,3	13,19	32,9
VII*	1,01	0,61	0,42	0,34	0,11	2,49	6,2	—	—
VIII	0,45	0,22	0,14	0,18	0,03	1,02	2,6	10,45	26,1
IX	1,89	0,96	0,37	0,46	0,31	3,99	6,8	17,47	29,8

\* Образец VII в растворителе ДМСО- $d_6$  образует суспензию, что не позволяет получение спектра ЯМР  $^1\text{H}$ . Представлены результаты для раствора в ацетоне- $d_6$ .

Table 2

**Content of terpene lactones (TL) and flavonoglycosides (FG) in preparations of ginkgo biloba**

Preparation	BB, mg	GA, mg	GB, mg	GC, mg	GJ, mg	ΣTL, mg	ΣTL, %	ΣFG, mg	ΣFG, %
I	0,9	0,55	0,26	0,25	0,12	2,08	5,2	10,45	26,1
II	0,98	0,65	0,28	0,29	0,17	2,36	5,9	10,45	26,1
III	0,43	0,43	0,17	0,16	0,06	1,26	6,2	5,35	26,8
IV	0,6	0,28	0,14	0,22	0,06	1,29	3,2	9,45	23,6
V	0,59	0,22	0,15	0,2	0,04	1,2	4,0	7,71	25,7
VI	0,95	0,38	0,23	0,4	0,17	2,12	5,3	13,19	32,9
VII*	1,01	0,61	0,42	0,34	0,11	2,49	6,2	—	—
VIII	0,45	0,22	0,14	0,18	0,03	1,02	2,6	10,45	26,1
IX	1,89	0,96	0,37	0,46	0,31	3,99	6,8	17,47	29,8

\* Sample VII forms a suspension in a DMSO- $d_6$  solvent, which did not allow the registration of the  $^1\text{H}$  NMR spectrum. Results for the solution in acetone- $d_6$

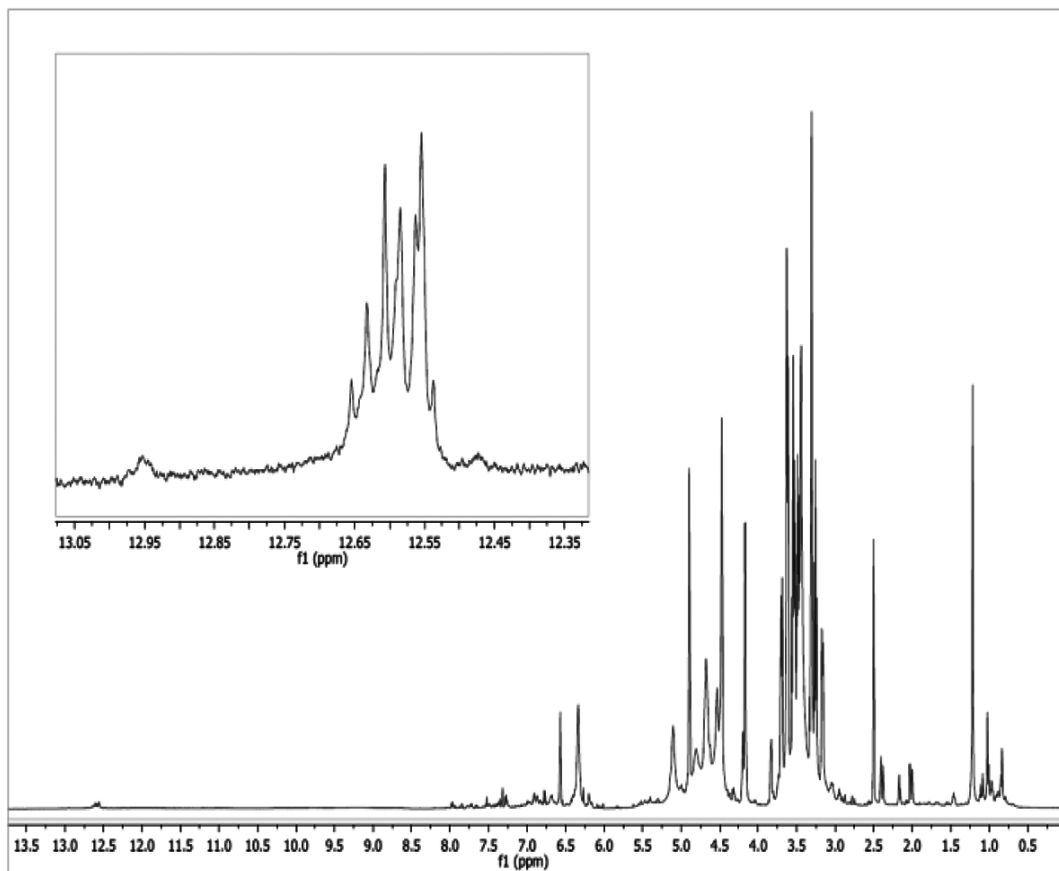
Возможно количественное определение групп ФГ в экстракте ГБ после гидролиза методом спектроскопии ЯМР  $^1\text{H}$  [20]. В исследуемом образце при этом остаются только три агликона: кемпферол, кверцетин и изорамнетин, что существенно упрощает интерпретацию спектра ЯМР  $^1\text{H}$ . Идентификацию и количественное определение кверцетина и изорамнетина проводят по интенсивности сигналов

ароматических протонов Н-2', кемпферола — по интегральной интенсивности сигналов протонов Н-2' и Н-6'. Однако такой подход «по останкам ФГ» немногим лучше методик ВЭЖХ/УФ.

Полный анализ спектров ЯМР  $^1\text{H}$  модельных соединений (пять ТЛ, три агликона, рутин) и серии из 6 коммерческих препаратов ГБ без проведения гидролиза показал [21], что суммарное количество в них агликонов не превосходит 1,1% вес., а содержание изорамнетина ниже предела детектирования. Рутин составляет от 0,65 до 3,33% в пяти случаях, а в одном образце 12%. Последний, по-видимому, фальсифицирован. Для определения суммы ФГ в натуральных объектах разработанный алгоритм неэффективен, хотя может быть полезен для выявления фальсификатов, обогащенных агликонами или рутином, что достигается ВЭЖХ/УФ.

Авторами впервые разработан принципиально новый метод количественного определения как суммы флавоноидов, так и их классификации, и индивидуализации в препаратах ГБ по интегральной интенсивности сигналов протона ОН-группы в положении 5 (5-ОН) кольца А. Неизвестно ни одного ФГ, образующего гликозидную связь через кислород 5-ОН, поскольку эта гидроксильная группа образует сильную внутримолекулярную водородную связь с кислородом карбонильной группы (см. рис. 1). Поэтому в спектрах ЯМР  $^1\text{H}$  ФГ протон 5-ОН наименее экранирован относительно протонов всех иных гидроксильных групп. В зависимости от строения агликона, положения и особенностей строения гликозидной части его сигнал проявляется в области от 11,8 до 13,20 м.д. Это установлено авторами при изучении вариации его положения в растворителе ДМСО- $d_6$  в флавоноидах различного строения: кверцетине, дигидрокверцетине, рутине, гесперидине и диосмине. Для них определены химические сдвиги 12,46 м.д., 11,87 м.д., 12,56 м.д., 12,03 м.д., 12,93 м.д., соответственно. Основываясь на этих и ранее опубликованных данных [22; 23] установлено, что вне зависимости от наличия гликозидной части вместо атома водорода одной или нескольких гидроксильных групп флавоногликозида, сигнал протона 5-ОН проявляется в одной из четырех указанных далее областей. Первая (11,80–12,20 м.д.) соответствует ФГ с насыщенной связью в положении 2-3 и гидроксильной группой в положении 3. Вторая (12,0–12,20 м.д.) — ФГ с насыщенной связью в положении 2-3 и без гидроксильной группы в положении 3. Третья (12,45–12,65) — ФГ с кратной связью в положении 2-3 и группами ОН или ОР в положениях 3 и 7. Четвертая (12,80–13,10) — ФГ с кратной связью в положении 2-3 и без гидроксильной группы в положении 3. Из полученных авторами в растворителе ДМСО- $d_6$  спектров ЯМР  $^1\text{H}$ , изученных препаратов следует, что почти все идентифицированные ФГ экстракта ГБ относятся к третьей группе и содержат в положении 3 группу ОН либо гликозидный фрагмент.

В состав экстракта ГБ входят флавоноиды с различным размером гликозидной части (1–3 углеводных остатка), т.е. и молекулярной массой. Усредненное отношение молекулярной массы ФГ и их агликонов близко к 2,5 [10; 24]. Отсюда необходимое для расчета суммарного содержания ФГ по интегральной интенсивности сигнала протона 5-ОН значение средней молекулярной массы найдено в количестве 759 г/моль.



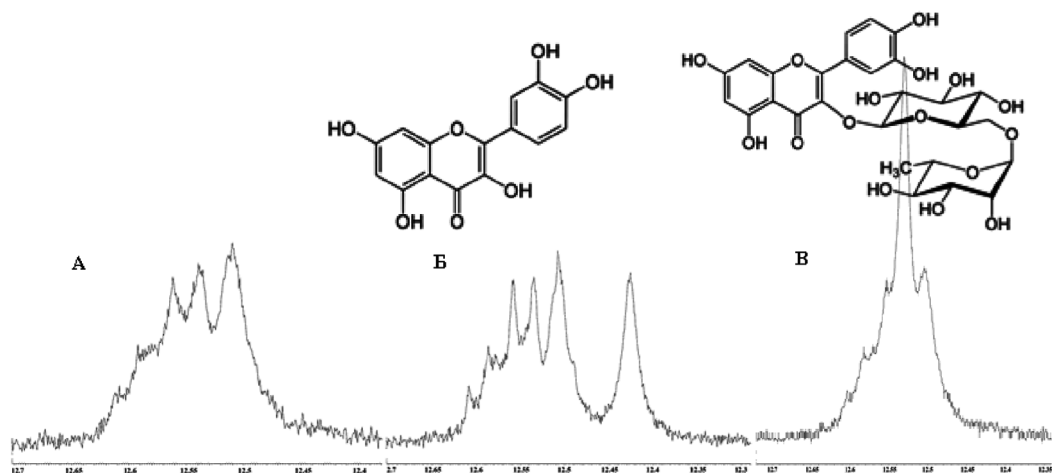
**Рис. 3.** Спектр ЯМР  $^1\text{H}$  препарата VI в ДМСО- $d_6$  и его фрагмент, содержащий сигналы протонов 5-ОН (Fig. 3.  $^1\text{H}$  NMR spectrum of preparation VI in DMSO- $d_6$  and its fragment, containing signals of 5-OH protons)

Предлагаемая методика количественного определения типов и суммы ФГ в экстрактах ГБ базируется на результатах изучения серии индивидуальных флавоноидов. На рисунке 3 представлено увеличенное изображение области спектра ЯМР  $^1\text{H}$  препарата VI, в которой проявляются сигналы протонов 5-ОН. Видно, что в этом образце содержится не менее десяти доминирующих ФГ в области 12,50–12,65 м.д., а также небольшие сигналы около 12,47 и 12,95. Количественное содержание их суммы определяется сравнением интегральной интенсивности суперпозиции этих сигналов с сигналом остаточных протонов (ОП) ДМСО- $d_5$  (2,5 м.д.) по уравнению, аналогичному приведенному ранее для ТЛ.

Результаты определения содержания суммы ФГ из спектров ЯМР  $^1\text{H}$  в препаратах I–VI и VIII показывают, что во всех препаратах, кроме VI, они близки к показателю для стандартизованного образца (см. табл. 2).

Возможность разработанной методики выявлять фальсификацию препаратов ГБ индивидуальными агликонами или рутином оценена путем добавления в препарат VIII 1,1 мг кверцетина или 4,7 мг рутина. Фрагменты спектра (рис. 4) в области 12,4–12,7 м.д. демонстрируют ее эффективность. Характерно, что хотя в

препарате VI содержание ФГ несколько выше, чем в других образцах и выходит за границы типичного диапазона (22–27%), вид сигнала 5-ОН (см. рис. 3) не выявляет в нем искусственных примесей, если не учитывать небольшой уширенный сигнал агликонов в области 12,45–12,50 м.д., площадь которого менее 1% от общей.



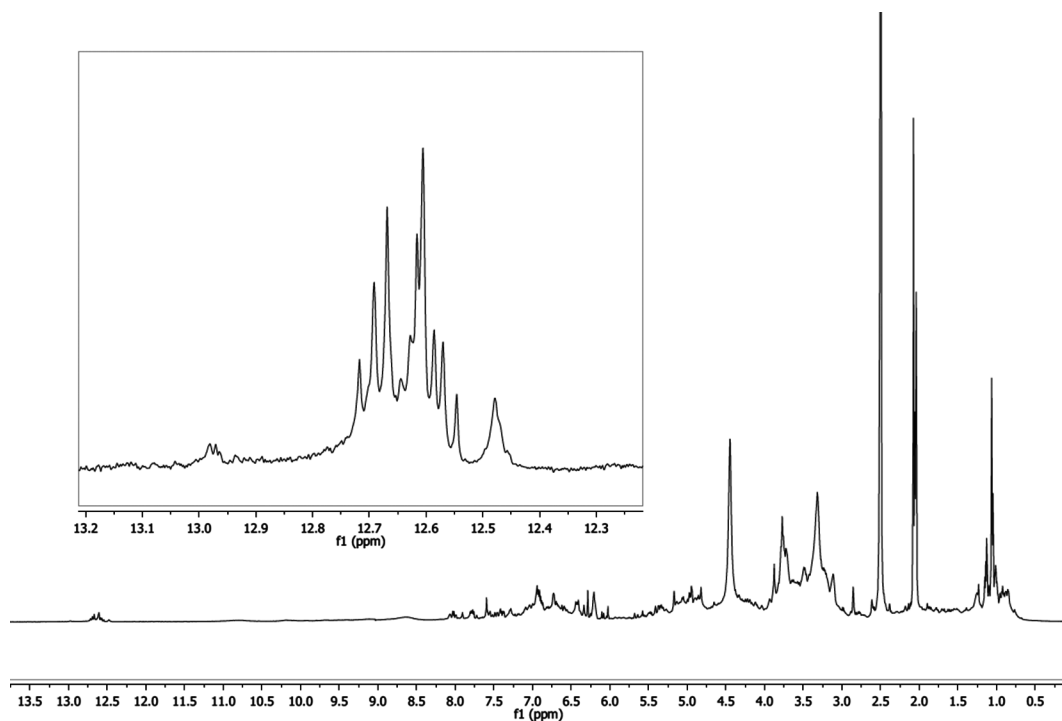
**Рис. 4.** Фрагмент спектра ЯМР  $^1\text{H}$  препарата VIII (А), препарата VIII с добавкой кверцетина 1,1 мг (Б), препарата VIII с добавкой рутина 4,7 мг (Б)  
**(Fig. 4.** A fragment of the  $^1\text{H}$  NMR spectrum of preparation VIII (A), preparation VIII supplemented with quercetin 1,1 mg (B), preparation VIII supplemented with rutin 4,7 mg (B))

Регистрация спектров ЯМР  $^1\text{H}$  экстрактов ГБ в растворителе ацетон- $\text{d}_6$  показала несколько пониженную относительную интенсивность сигналов протонов 5-ОН групп по сравнению с раствором в ДМСО- $\text{d}_6$ , что можно объяснить частичным их дейтерированием за счет протонного обмена. Однако качественная информативность такого спектра несколько выше. Во фрагменте спектра ЯМР  $^1\text{H}$  экстракта ГБ IX в смеси ДМСО- $\text{d}_6$ :ацетон- $\text{d}_6$  (60:40) (рис. 5) проявляются более 15 сигналов отдельных ФГ, в том числе присутствие агликонов. При наличии стандартных образцов в таких спектрах могут быть идентифицированы и полуколичественно определены содержания иных ФГ. Такой прием целесообразен для выявления фальсификации экстрактов ГБ путем добавления «чужеродных» более доступных по цене композиций аналогичных флавоноидов (например, из гречихи посевной или серпухи венценосной).

В изученной серии препаратов три (IV, V, VIII) содержат пониженное содержание ТЛ, один (V) содержит значительную примесь агликонов, два (IV, VII) имеют аномально неразрешенные сигналы протонов 5-ОН. Только спектры ЯМР  $^1\text{H}$  препаратов I–III и VI соответствуют нормативным требованиям (см. табл. 1) однако, отсутствие для них сведений по содержанию гинкголевых кислот не позволяет признать их соответствующими характеристикам для стандартизованного экстракта.

Полученные результаты по определению содержания ФГ имеют более широкую область применения, чем экспресс-экспертиза препаратов ГБ без химиче-

ского преобразования при пробоподготовке и без использования стандартных образцов. Разработанный метод выявления, структурного и количественного анализа флавоноидов может быть успешно адаптирован для многих других растительных экстрактов, содержащих подобные флавоноиды. В настоящее время авторами изучаются экстракты из шлемника байкальского (*Scutellariae baicalensis*) и расторопши пятнистой (*Silybum marianum*).



**Рис. 5.** Спектр ЯМР  $^1\text{H}$  в смеси растворителей ДМСО- $\text{d}_6$ :Ацетон- $\text{d}_6$  (60:40) экстракта гинкго билоба  
**(Fig. 5.**  $^1\text{H}$  NMR spectrum of ginkgo biloba extract in a mixture of DMSO- $\text{d}_6$  and Acetone- $\text{d}_6$  (60:40))

В заключении следует отметить, что предложенный новый и наиболее информативный подход на основе спектроскопии ЯМР  $^1\text{H}$  позволяет быстро и без использования СО определить содержание в экстрактах ГБ отдельных ТЛ и ФГ. Однако с позиции требования безопасности следует дополнительно определять в экстрактах ГБ содержание ГК и гингготоксина. в возможного остаточного содержания [25]. Хотя он более характерен для семян ГБ, но возможно его присутствие при неправильной технологии получения экстрактов из листьев. В силу недостаточной чувствительности метода для этого следует привлекать иные известные методики оценки.

## Выводы

1. Установлено несовершенство аналитической базы, используемой для доказательства подлинности экстрактов ГБ, лекарственных препаратов и пищевых добавок на их основе.

2. Предложена методика одновременного определения ТЛ и ФГ в ЛС и БАДах на основе экстрактов ГБ методом спектроскопии ЯМР  $^1\text{H}$ , превосходящая по простоте, скорости и информативности любые ранее известные.

3. Использование ЛС и БАДов, содержащих препараты из экстрактов ГБ, целесообразно только при условии их предварительного анализа на подлинность и предельное содержание гинкгоидных кислот и гинкготоксинов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] *Jensen A.G., Ndjoko K., Wolfender J.L., Hostettmann K., Camponovo F., Soldati F.* Liquid chromatography-atmospheric pressure chemical ionisation/mass spectrometry: a rapid and selective method for the quantitative determination of ginkgolides and bilobalide in Ginkgo leaf extracts and phytopharmaceuticals // *Phytochem. Anal.* 2002. V. 13. P. 31–38.
- [2] *Singh B., Kaur Gopichand P., Singh R.D., Ahuja P.S.* Biology and chemistry of Ginkgo biloba // *Fitoterapia.* 2008. V. 79. P. 401–418.
- [3] *Solfrizzi V., Panza F.* Plant-based nutraceutical interventions against cognitive impairment and dementia: meta-analytic evidence of efficacy of a standardized Ginkgo biloba extract // *J. Alzheimers Dis.* 2015. V. 43. P. 605–611.
- [4] *Xiong X.J., Liu W., Yang X.C., Feng B., Zhang Y.Q., Li S.J., Li X.K., Wang J.* Ginkgo biloba extract for essential hypertension: a systemic review // *Phytomedicine.* 2014. V. 21. P. 1131–1136.
- [5] *Chu X., Ci X., He J., Wei M., Yang X., Cao Q., Li H., Guan S., Deng Y., Pang D., Deng X.* A novel anti-inflammatory role for ginkgolide B in asthma via inhibition of the ERK/MAPK signaling pathway // *Molecules.* 2011. V. 16. P. 7634–7648.
- [6] *Hilton M.P., Zimmermann E.F., Hunt W.T.* Ginkgo biloba for tinnitus, Cochrane Db // *Syst. Rev.* 2013. V. 3.
- [7] *DeKosky S.T., Williamson J.D., Fitzpatrick A.L., Kronmal R.A., Ives D.G., Saxton J.A., Lopez O.L., Burke G., Carlson M.C., Fried L.P., Kuller L.H., Robbins J.A., Tracy R.P., Woolard N.F., Dunn L., Snitz B.E., Nahin R.L., Furberg C.D.* Ginkgo biloba for prevention of dementia: a randomized controlled trial // *J. Am. Med. Assoc.* 2008. V. 300. P. 2253.
- [8] *Schneider L.S.* Ginkgo biloba extract and preventing Alzheimer disease // *J. Am. Med. Assoc.* 2008. V. 300. P. 2306.
- [9] *Van Beek T.A.* Chemical analysis of Ginkgo biloba leaves and extracts // *J. Chromatogr. A.* 2002. V. 967. P. 21–55.
- [10] *Liu X.G., Wu S.Q., Li P., Yang H.* Advancement in the chemical analysis and quality control of flavonoids in Ginkgo biloba // *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis.* 2015. V. 113. P. 212–225.
- [11] *T.A. van Beek, Montoro P.* Chemical analysis and quality control of Ginkgo biloba leaves extracts, and phytopharmaceuticals // *J. Chromatogr. A.* 2009. V. 1216. P. 2002–2032.
- [12] *Drieu K., Jaggy H.* History, development and constituents of EGb 761. in: T.A. van Beek (Ed.), *Ginkgo biloba*, Harwood. Amsterdam. 2000. P. 265.
- [13] *O'Reilly J., in: T.A. van Beek (Ed.)* Ginkgo biloba — large scale extraction and processing. *Ginkgo biloba*, Harwood. Amsterdam. 2000. P. 99.
- [14] USP 38 — NF 33: United States Pharmacopeia. 2015.
- [15] *Booker A., Frommenwiler D., Reich E., Horsfield S., Heinrich M.* Adulteration and Poor Quality of Ginkgo Biloba Supplements // *Journal of Herbal Medicine.* 2016. V. 6. P. 79–87.
- [16] *Harnly J.M., Luthria D., Chen P.* Detection of Adulterated Ginkgo biloba Supplements Using Chromatographic and Spectral Fingerprints // *Journal of AOAC International.* 2012. V. 95 (6). P. 1579–1587.
- [17] *Kakigi Y., Nakamatsuka T., Icho T., Goda Y., Mochizuki N.* Investigation of Biologically Active Components in Ginkgo Leaf Products on the Japanese Market // *Biosci. Biotechnol. Biochem.* V. 75 (4). P. 777–779.



- [18] Weinges K., Hepp M., Jaggy H. Isolierung und Structuraufklarung eines neuen Ginkgolids // *Liebigs Ann. Chem.* 1987. P. 521–526.
- [19] Weinges K., Bahr W. Bilobalid A, ein neues Sesquiterpen mitt ret-Butyl-Gruppe aus den Blattern von *Ginkgo biloba* L. // *Liebigs Ann. Chem.* 1969. P. 214–216.
- [20] Li Ch. Y., Lin Ch. H., Wu Ch. Ch., Lee K. H., Wu T. Sh. Efficient  $^1\text{H}$  Nuclear Magnetic Resonance Method for Improved Quality Control Analyses of Ginkgo Constituents // *J. Agric. Food Chem.* 2004. V. 52. P. 3721–3725.
- [21] Napolitano J.G., Godecke T., Rodrigues-Brasco M.F., Jaki B.U., Chen Sh.N., Lankin D.C., Pauli G.F. The tandem of Full Spin Analysis and qHNMR for the Quality Control of botanicals exemplified with *Ginkgo Biloba* // *J. Nat. Prod.* 2012. V. 75. P. 238–248.
- [22] Charisiadis P., Kontogianni V.G., Tsiafoulis C.G., Tzakos A.G., Siskos M., Gerathanassis I.P.  $^1\text{H}$ -NMR as a structural and analytical tool of intra- and intermolecular hydrogen bonds of phenol-containing natural products and model compounds // *Molecules.* 2014. V. 19. P. 13643–13682.
- [23] Шейченко В.И., Шейченко О.П., Ануфриев В.В., Толкачев О.Н., Дюмаев К.М., Сокольская Т.А. Изучение состава фенольного компонента метаболома растений методом ЯМР // *Химико-фармацевтический журнал.* 2016. Т. 50. № 2. С. 51–57.
- [24] Gray D.E., Upton R., Chandra A., Porter A., Harris R.K. Quantitative analysis of flavonol glycosides in *Ginkgo Biloba*: a comparison of two analytical methods // *Phytochem Anal.* 2006. V. 16(1). P. 56–62.
- [25] Choi Y.H., Choi H.-K., Peltenburg-Looman A.M.G., Lefeber A.W.M., Verpoorte R. Quantitative Analysis of Ginkgolic Acids from *Ginkgo* Leaves and Products Using  $^1\text{H}$ -NMR // *Phytochem. Anal.* 2004. V. 15. P. 325–330.

© Васильев В.Г., Калабин Г.А.,  
Букаса Митео Иван, Рудачевский Д.Д., 2017

#### История статьи:

Дата поступления в редакцию: 12.04.2017

Дата принятия к печати: 28.08.2017

#### Для цитирования:

Васильев В.Г., Калабин Г.А., Букаса Митео Иван, Рудачевский Д.Д. О необходимости совершенствования контроля безопасности и качества экстрактов из листьев гинкго билоба // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности.* 2017. Т. 25. № 3. С. 414–430. DOI 10.22363/2313-2310-2017-25-3-414-430

#### Сведения об авторах:

Васильев Василий Геннадьевич — аспирант кафедры системной экологии Российского университета дружбы народов. E-mail: vasiliev\_vg@rudn.university

Калабин Геннадий Александрович — доктор химических наук, профессор, профессор кафедры системной экологии Российского университета дружбы народов. E-mail: kalabin\_ga@rudn.university

Букаса Митео Иван — аспирант кафедры системной экологии Российского университета дружбы народов.

Рудачевский Дмитрий Дмитриевич — бакалавр экологии и природопользования кафедры системной экологии Российского университета дружбы народов.

## ON THE NEED TO IMPROVE THE SAFETY AND QUALITY CONTROL OF EXTRACTS FROM THE LEAVES OF GINKGO BILOBA

V.G. Vasil'ev, G.A. Kalabin, Bucasa Miteo Ivan, D.D. Rudachevskiy

Peoples' Friendship University of Russia  
Miklukho-Maklaya str., 6, Moscow, Russia, 117198

The issue of safety and quality examination of natural food additives and medicinal products is considered on the example of extracts from leaves of ginkgo biloba — nootropics, the most popular in the world both in terms of consumption and scientific interest. The requirements to the composition of preparations and methods of their control are characterized. A new original methodology for the determination of the content in commercial preparations of individual terpene lactones, flavonoglycosides of various groups and their aglycones by  $^1\text{H}$  NMR is proposed. A number of adulterated and/or low-quality preparations have been identified. The ways of expertise improving are proposed, including the definition of the minor components content.

**Key words:** Ginkgo biloba, dietary supplements, medicines, NMR spectroscopy, quality control, authenticity, flavonoglycosides, terpene lactones, ginkgolic acids, ginkgotoxine

### REFERENCES

- [1] Jensen A.G., Ndjoko K., Wolfender J.L., Hostettmann K., Camponovo F., Soldati F. Liquid chromatography-atmospheric pressure chemical ionisation/mass spectrometry: a rapid and selective method for the quantitative determination of ginkgolides and bilobalide in Ginkgo leaf extracts and phytopharmaceuticals. *Phytochem. Anal.* 2002; 13: 31–38.
- [2] Singh B., Kaur Gopichand P., Singh R.D., Ahuja P.S. Biology and chemistry of Ginkgo biloba. *Fitoterapia.* 2008; 79: 401–418.
- [3] Solfrizzi V., Panza F. Plant-based nutraceutical interventions against cognitive impairment and dementia: meta-analytic evidence of efficacy of a standardized Ginkgo biloba extract. *J. Alzheimers Dis.* 2015; 43: 605–611.
- [4] Xiong X.J., Liu W., Yang X.C., Feng B., Zhang Y.Q., Li S.J., Li X.K., Wang J. Ginkgo biloba extract for essential hypertension: a systemic review. *Phytomedicine.* 2014; 21: 1131–1136.
- [5] Chu X., Ci X., He J., Wei M., Yang X., Cao Q., Li H., Guan S., Deng Y., Pang D., Deng X. A novel anti-inflammatory role for ginkgolide B in asthma via inhibition of the ERK/MAPK signaling pathway. *Molecules.* 2011; 16: 7634–7648.
- [6] Hilton M.P., Zimmermann E.F., Hunt W.T. Ginkgo biloba for tinnitus, Cochrane Db. *Syst. Rev.* 2013; 3.
- [7] DeKosky S.T., Williamson J.D., Fitzpatrick A.L., Kronmal R.A., Ives D.G., Saxton J.A., Lopez O.L., Burke G., Carlson M.C., Fried L.P., Kuller L.H., Robbins J.A., Tracy R.P., Woolard N.F., Dunn L., Snitz B.E., Nahin R.L., Furberg C.D. Ginkgo biloba for prevention of dementia: a randomized controlled trial. *J. Am. Med. Assoc.* 2008; 300: 2253.
- [8] Schneider L.S. Ginkgo biloba extract and preventing Alzheimer disease. *J. Am. Med. Assoc.* 2008; 300: 2306.
- [9] Van Beek T.A. Chemical analysis of Ginkgo biloba leaves and extracts. *J. Chromatogr. A.* 2002; 967: 21–55.
- [10] Liu X.G., Wu S.Q., Li P., Yang H. Advancement in the chemical analysis and quality control of flavonoids in Ginkgo biloba. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis.* 2015; 113: 212–225.
- [11] T.A. van Beek, P. Montoro, Chemical analysis and quality control of Ginkgo biloba leaves extracts, and phytopharmaceuticals. *J. Chromatogr. A.* 2009; 1216: 2002–2032.

- [12] Drieu K., Jaggy H. History, development and constituents of EGb 761. in: T.A. van Beek (Ed.), *Ginkgo biloba*, Harwood. Amsterdam. 2000: 265.
- [13] O'Reilly J., in: T.A. van Beek (Ed.), *Ginkgo biloba — large scale extraction and processing*. Ginkgo biloba, Harwood. Amsterdam. 2000: 99.
- [14] USP 38 — NF 33: United States Pharmacopeia. 2015.
- [15] Booker A., Frommenwiler D., Reich E., Horsfield S., Heinrich M. Adulteration and Poor Quality of Ginkgo Biloba Supplements. *Journal of Herbal Medicine*. 2016; 6: 79–87.
- [16] Harnly J.M., Luthria D., Chen P. Detection of Adulterated Ginkgo biloba Supplements Using Chromatographic and Spectral Fingerprints. *Journal of AOAC International*. 2012; 95 (6):1579–1587.
- [17] Kakigi Y., Nakamatsuka T., Icho T., Goda Y., Mochizuki N. Investigation of Biologically Active Components in Ginkgo Leaf Products on the Japanese Market. *Biosci. Biotechnol. Biochem*. 75 (4): 777–779.
- [18] Weinges K., Hepp M., Jaggy H. Isolierung und Structuraufklärung eines neuen Ginkgolids. *Liebigs Ann. Chem*. 1987; 521–526.
- [19] Weinges K., Bahr W. Bilobalid A, ein neues Sesquiterpen mitt ret-Butyl-Gruppe aus den Blättern von Ginkgo biloba L. *Liebigs Ann. Chem*. 1969; 214–216.
- [20] Li Ch.Y., Lin Ch.H., Wu Ch.Ch., Lee K.H., Wu T.Sh. Efficient <sup>1</sup>H Nuclear Magnetic Resonance Method for Improved Quality Control Analyses of Ginkgo Constituents. *J. Agric. Food Chem*. 2004; 52: 3721–3725.
- [21] Napolitano J.G., Godecke T., Rodrigues-Brasco M.F., Jaki B.U., Chen Sh.N., Lankin D.C., Pauli G.F. The tandem of Full Spin Analysis and qHNMR for the Quality Control of botanicals exemplified with Ginkgo Biloba. *J. Nat. Prod*. 2012; 75: 238–248.
- [22] Charisiadis P., Kontogianni V.G., Tsiafoulis C.G., Tzakos A.G., Siskos M., Gerothanassis I.P. <sup>1</sup>H-NMR as a structural and analytical tool of intra- and intermolecular hydrogen bonds of phenol-containing natural products and model compounds. *Molecules*. 2014; 19: 13643–13682.
- [23] Sheichenko V.I., Sheichenko O.P., Anufrieva V.V., Tolkachev O.N., Dyumaev K.M., Sokol'skaya T.A. NMR study of the phenolic component composition of plant metabolomes. *Pharmaceutical Chemistry Journal*. 2016; 50(2): 51–57.
- [24] Gray D.E., Upton R., Chandra A., Porter A., Harris R.K. Quantitative analysis of flavonol glycosides in Ginkgo Biloba: a comparison of two analytical methods. *Phytochem Anal*. 2006; 16(1): 56–62.
- [25] Choi Y.H., Choi H.-K., Peltenburg-Looman A.M.G., Lefeber A.W.M., Verpoorte R. Quantitative Analysis of Ginkgolic Acids from Ginkgo Leaves and Products Using <sup>1</sup>H-NMR // *Phytochem. Anal*. 2004. V. 15. P. 325–330.

#### Article history:

Received: 12.04.2017

Revised: 28.08.2017

#### For citation:

Vasil'ev V.G., Kalabin G.A., Bucasa Miteo Ivan, Rudachevskiy D.D. (2017) On the need to improve the safety and quality control of extracts from the leaves of ginkgo biloba. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*, 25 (3), 414–430. DOI 10.22363/2313-2310-2017-25-3-414-430

#### Bio Note:

Vasiliev Vasily Gennadievich — post-graduate student of the Department of System Ecology of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education “Peoples' Friendship University of Russia”. E-mail: vasiliev\_vg@rudn.university

*Kalabin Gennady Aleksandrovich* — Doctor of Chemical Sciences, Professor, Professor of the Department of System Ecology of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education “Peoples’ Friendship University of Russia”. E-mail: kalabin\_ga@rudn.university

*Bukasa Miteo Ivan* — a graduate student of the Department of System Ecology of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education “Peoples’ Friendship University of Russia”.

*Rudachevsky Dmitry Dmitrievich* — Bachelor of Ecology and Nature Management, Department of System Ecology of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education “Peoples’ Friendship University of Russia”.



DOI 10.22363/2313-2310-2017-25-3-431-441

УДК 598.112.591.52

## СЕЗОННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПОЛОВОЗРАСТНОЙ СТРУКТУРЫ ПОПУЛЯЦИИ КРУГЛОГОЛОВКИ-ВЕРТИХВОСТКИ (*PHRYNOCEPHALUS GUTTATUS GUTTATUS GMEL.*)

Г.В. Польшова, С.С. Мишустин

Российский университет дружбы народов  
Подольское ш., 8/5, Москва, Россия, 115093

Осенние полевые исследования популяции круглоголовки-вертихвостки (*Phrynocephalus guttatus guttatus Gmel.*), проведенные в конце августа 2011 года и в конце августа — начале сентября 2016 года в песчаных полупустынях Астраханской области, выявили следующие особенности ее половозрастной структуры. Осеннее поселение круглоголовок-вертихвосток достоверно распадается на несколько половозрастных групп: 1—2 группы неполовозрелых животных, 2—4 группы самок и 2—5 групп самцов. В осеннем сезоне в поселении преобладали самцы, особенно велик был численный перевес самцов в осенний сезон 2016 года. Отсутствие в осеннем поселении 2016 года неполовозрелых особей, значительный перевес старших возрастных групп и преобладание самцов среди половозрелых животных создали картину общего старения и депрессии популяции. Лабильность типа динамики численности, характерная для коротко живущих видов, может быть одной из характеристик, способствующих процессам популяционной депрессии. Практически полная смена населения исследуемой популяции круглоголовки-вертихвостки, вероятно, может происходить как за два, так и за 3—4 года.

**Ключевые слова:** популяция, половозрастная структура, круглоголовка-вертихвостка (*Phrynocephalus guttatus guttatus Gmel.*), песчаные полупустыни

Половозрастная структура является одним из основных популяционных показателей вида и определяет темпы размножения, динамику численности и другие характеристики популяции. Выбранный авторами для исследований вид, круглоголовка-вертихвостка (*Phrynocephalus guttatus guttatus Gmel.*), является фоновым для песчаных полупустынь Астраханской области и, как уже не раз отмечалось [1—3], представляет собой почти идеальный модельный объект. Ранее опубликованные итоговые материалы [3] подробно осветили пятилетний цикл динамики половозрастной структуры в сезон размножения. На следующем этапе исследований авторов заинтересовал вопрос об особенностях этой структуры вне сезона размножения, поскольку этот показатель — основной показатель успешности сезона размножения и позволяет сделать прогноз на сезон активности следующего года.

Предлагаемые в статье данные собраны в течение двух осенних полевых сезонов 2011 и 2016 годов на том же поселении вида, где до этого был собран весенний материал, что дает широкие возможности сравнений и обобщений.

### Методы и материалы исследования

Материал был собран в течение двух полевых сезонов (первая декада сентября 2011 года и последняя декада августа — первые две декады сентября 2016 года) в окрестностях поселка Досанг Астраханской области. Изучаемое поселение ящериц, соответствующее уровню элементарной популяции [4], обитало на изолированном участке полужакопленного песка площадью 0,4 га.

На территории поселения были отловлены, промерены и помечены все встреченные круглоголовки-вертихвостки, общее число которых составило 38 особей в 2011 году и 54 особи в 2016 году.

В основе разделения особей на размерно-возрастные группы использовали показатель длины тела (мм), у половозрелых ящериц определяли пол. В нашем материале пол животных надежно определялся, начиная с длины тела 33 мм для самцов и 35 мм для самок, что соответствует нижней границе размера половозрелых животных, приведенной другими авторами [5; 6] и подтвержденной вскрытием.

На базе полученных данных были построены вариационные кривые. Оценка достоверности размерной разницы между возрастными группами была осуществлена с помощью критерия Стьюдента ( $t_{sp}$ ).

Для удобства наблюдений всех животных метили индивидуальным номером. Номер наносился на спину нитрокраской или маркером на спиртовой основе. Он хорошо сохранялся в течение одного полевого этапа работы.

Для многолетнего варианта исследований было проведено пожизненное мечение, путем отрезания 1—2 фаланг пальцев по классической схеме [7]. По авторским наблюдениям метки заметно не сказывались на жизнеспособности животных.

### Результаты и обсуждение

В осенний сезон 2011 года на территории поселения было поймано 38 особей, из них 11 ювенильных, 7 неполовозрелых особей, 9 самок и 11 самцов. В 2016 году число пойманных ящериц составило 54 особи, из них 16 самок и 38 самцов.

Как и весной, в осеннем поселении вида существовало несколько дискретных размерных групп (табл. 1).

Таблица 1

**Размерно-возрастные группы круглоголовки-вертихвостки в осенние сезоны 2011 и 2016 годов**

№ группы	Сентябрь 2011			Август—сентябрь 2016	
	Пол и возраст	Число особей	Длина тела, мм (диапазон длины тела)	Число особей	Длина тела, мм (диапазон длины тела)
1	juv.	11	26,2±0,9 (25–28)	–	–
2	sad	7	29,6±0,8 (29–31)	–	–
3	Самки	8	33,3±1,3 (32–35)	–	–
4	Самки	1	40	2	39,5±1,5 (38–41)
5	Самки	–	–	1	45
6	Самки	–	–	8	50,3±0,25 (49–52)
7	Самки	–	–	5	53,6±0,4 (53–54)

Окончание табл. 1

№ группы	Сентябрь 2011			Август—сентябрь 2016	
	Пол и возраст	Число особей	Длина тела, мм (диапазон длины тела)	Число особей	Длина тела, мм (диапазон длины тела)
8	Самцы	6	33,3±1,3 (33–37)	—	—
9	Самцы	5	40,6±1,2 (40–43)	3	39,67±1,33 (38–41)
10	Самцы	—	—	10	45,8± 0,2 (45–47)
11	Самцы	—	—	10	49,2±0,8 (48–50)
12	Самцы	—	—	10	52,1±0.1 (51–53)
13	Самцы	—	—	5	54,6±0,6 (54–56)

Table 1

**Size-age groups *Phrynocephalus guttatus guttatus* Gmel. in the autumn seasons  
2011 and 2016 years**

Group number	September 2011			August-september 2016	
	Gender and age	Number of specimens	Length of body, mm (length range)	Number of specimens	Length of body, mm (length range)
1	juv.	11	26,2±0,9 (25–28)	—	—
2	sad	7	29,6±0,8 (29–31)	—	—
3	female	8	33,3±1,3 (32–35)	—	—
4	female	1	40	2	39,5±1,5 (38–41)
5	female	—	—	1	45
6	female	—	—	8	50,3±0,25 (49–52)
7	female	—	—	5	53,6±0,4 (53–54)
8	male	6	33,3±1,3 (33–37)	—	—
9	male	5	40,6±1,2 (40–43)	3	39,67±1,33 (38–41)
10	male	—	—	10	45,8± 0,2 (45–47)
11	male	—	—	10	49,2±0,8 (48–50)
12	male	—	—	10	52,1±0.1 (51–53)
13	male	—	—	5	54,6±0,6 (54–56)

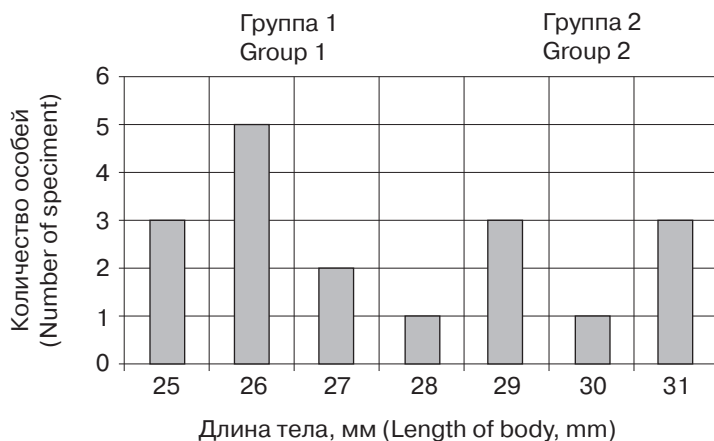
Разделение на размерно-возрастные группы было проведено в соответствии с ранее выделенными группами весеннего поселения [3]. Во всех случаях различия между размерными группами статистически достоверны ( $p \leq 0,01$ ).

На первом этапе анализа полученных материалов рассмотрим отдельно группы неполовозрелых особей, самок и самцов.

**Неполовозрелые особи (группы № 1 и 2)**

Следует отметить, что группа ювенильных особей присутствовала только в весенних материалах 2010 года [3] и в осенних материалах 2011 года. Выделение двух групп неполовозрелых особей было основано на весенних материалах, данных по росту меченных животных [8] и соответствующих материалах по размеру неполовозрелых особей уже отмеченных авторов.

Дискретность размерных групп неполовозрелых особей прослеживается не так явно как у половозрелых животных (рис. 1), но авторы взяли за основу размерные группы весенних данных [3].



**Рис. 1.** Размерные группы неполовозрелых особей круглоголовки-вертихвостки в сентябре 2011 года

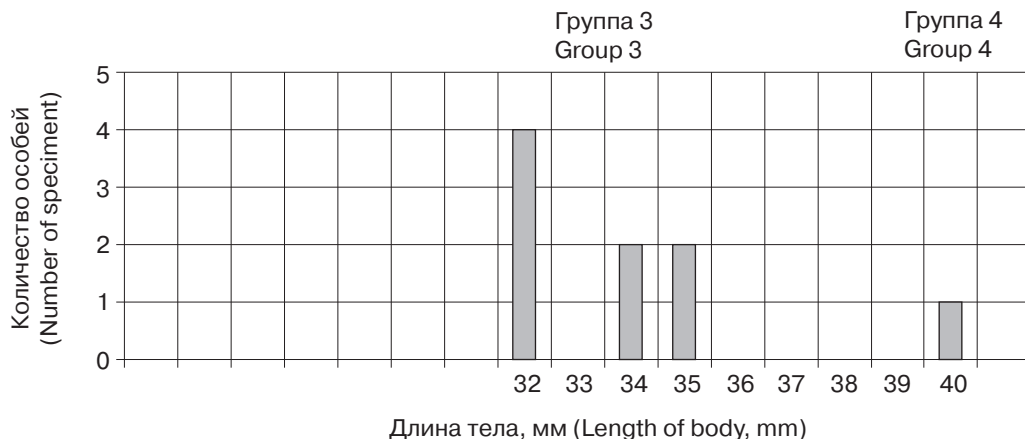
(**Fig. 1.** Size groups of juvenility persons *Phrynocephalus guttatus guttatus* Gmel. in September 2011 year)

Наличие в осеннем поселении 2011 года, как и в весеннем поселении 2010 года двух возрастных групп неполовозрелых особей, несомненно, указывает на то, что в соответствующие сезоны размножения было отложено, по крайней мере, две последовательные кладки.

Непонятным остается факт полного отсутствия неполовозрелых особей в осенних материалах 2016 года. Можно предположить, что экологические особенности данного сезона привели к гибели кладок.

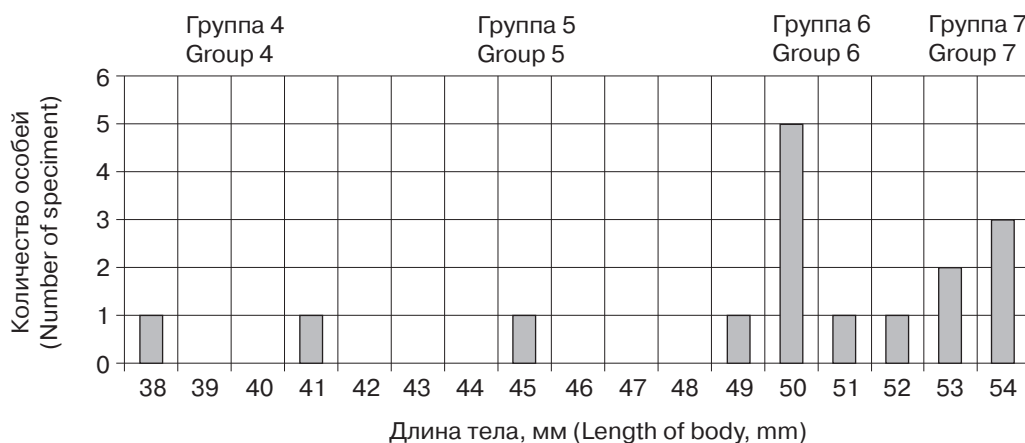
### Половозрелые самки (группы № 3, 4, 5, 6, 7)

Выделение групп половозрелых самок основывалось на уже описанных материалах весенних сезонов [3]. Дискретность размерных групп самок хорошо видна на столбчатых диаграммах (рис. 2, 3).



**Рис. 2.** Размерные группы самок круглоголовки-вертихвостки в сентябре 2011 года  
(**Fig. 2.** Size groups of female persons *Phrynocephalus guttatus guttatus* Gmel. in September 2011 year)





**Рис. 3.** Размерные группы самок круглоголовки-вертихвостки в сентябре 2016 года  
(**Fig. 3.** Size groups of female persons *Phrynocephalus guttatus guttatus* Gmel. in September 2016 year)

Самая младшая группа самок № 3, очевидно, была выросшими неполовозрелыми особями, появившимся в прошлом сезоне и достигшим к осени возраста 1-го года. Это подтверждают материалы по росту ящериц [8; 9]. Из них же следует, что более крупные животные групп № 4 и № 5 несомненно, перезимовали не менее 2 раз, а особи, включенные в группы № 6 и № 7, имели возраст 3–4 года, поскольку после достижения половозрелости рост рептилий резко замедляется, составляя у этого вида 2–3 мм в год.

Интересно, что группы 3–4-летних самок впервые появились в популяции только осенью 2016 года. Ни в одном из весенних сезонов авторы таких крупных животных не встречали, как не было их и осенью 2011 года. Долгое время считалось, что мелкие круглоголовки живут чуть больше 1-го года [10], но более поздние материалы других авторов говорят о более высокой, чем год продолжительности жизни этого вида [6; 11]. З.К. Брушко [6] отмечала круглоголовок-вертихвосток, соответствующих нашей 3–4-летней группе, но и она говорила, что такие животные встречаются крайне редко.

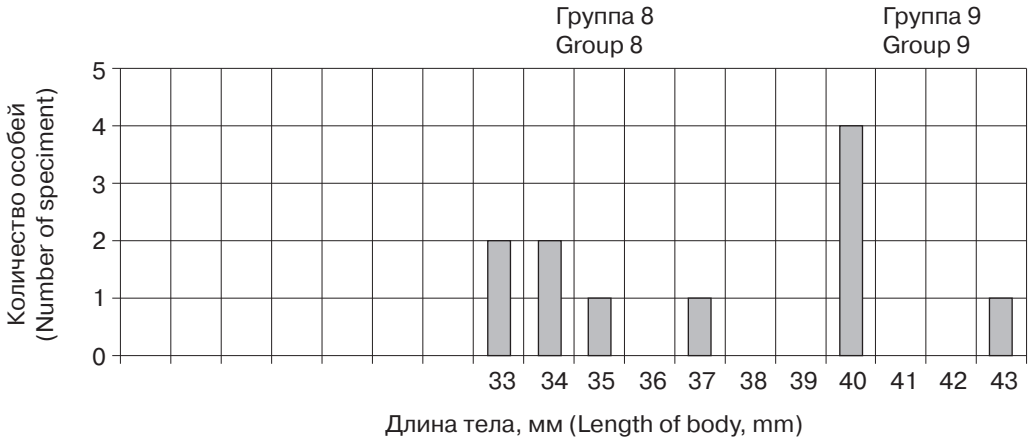
### Половозрелые самцы (группы № 8, 9, 10, 11, 12 и 13)

Выделение групп половозрелых самцов основывалось на тех же положениях, что и самок, но дискретность размерных групп прослеживается не так явно как у самок (рис. 4, 5). В материалах 2011 года нет непрерывного ряда значений, в материалах 2016 года часть размерных групп, напротив, представляют непрерывный ряд. Тем не менее, авторы считают целесообразным проведение представленного выделения размерно-возрастных групп, поскольку оно в целом соответствует весеннему [3] и отражает размерно-возрастной характер структуры популяции в осенний период.

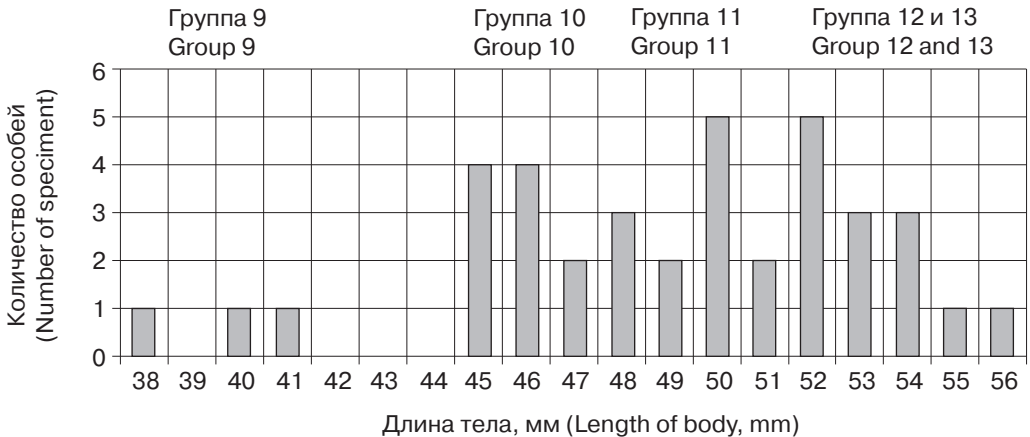
Как и у самок, самая младшая группа самцов № 8 была выросшими весенними неполовозрелыми особями, появившимся в прошлом сезоне и достигшем к осени возраста 1-го года. По уже отмеченным наблюдениям, касающимся роста ящериц, более крупные животные групп № 9, № 10 и № 11, несомненно, пере-

зимовали не менее 2 раз, а особи, включенные в группы № 12 и № 13, имели возраст не менее 3–4 лет.

Как и в случае с самками, крупные самцы старших возрастов, групп № 12 и 13, появились лишь в осенних материалах 2016 года.



**Рис. 4.** Размерная группа самцов круглоголовки-вертихвостки в сентябре 2011 года  
**(Fig. 4.** Size group of male persons *Phrynocephalus guttatus guttatus* Gmel. in September 2011 year)



**Рис. 5.** Размерные группы самцов круглоголовки-вертихвостки в августе—сентябре 2016 года  
**(Fig. 5.** Size group of male persons *Phrynocephalus guttatus guttatus* Gmel. in September 2016 year)

Подводя итог представленным материалам следует сказать, что половозрастная структура популяции осени 2011 года, была следствием весенней этого же года, с закономерным появлением двух групп неполовозрелых особей и формированием нескольких групп половозрелых самцов и самок.

Напротив, данные осени 2016 года с отсутствием неполовозрелых особей и значительным присутствием особей старших возрастных групп, создали картину общего старения и неблагополучия популяции, причины которого до конца не ясны. В пользу предположения о популяционной депрессии свидетельствовало и значительное преобладание в поселении самцов (см. табл. 1).

### Соотношение половозрастных групп

Соотношение половозрастных групп (табл. 2) дало дополнительную информацию для понимания процессов, проходящих в популяции.

Таблица 2

**Соотношение половозрастных групп круглоголовки-вертиховки  
в осенний сезон 2011 и 2016 годов**

Сезон	Вариант соотношения	Долевое соотношение
Сентябрь 2011 года	ad : sad	1,1:1
	самцы : самки	1,2:1
	самцы № 8 : самки № 3	1:1,3
	самцы № 9 : самки № 4	5:1
Август—сентябрь 2016 года	ad : sad	54:0
	самцы : самки	2,4:1
	самцы № 9 : самки № 4	1,5:1
	самцы № 10 : самки № 5	10:1
	самцы № 11 : самки № 6	1,3:1
	самцы № 12 : самки № 7	2:1
	самцы № 13	5:0

Table 2

**Sex and age ratio in groups *Phrynocephalus guttatus guttatus* Gmel.  
in autumn seasons 2011 and 2016 years**

Season	Proportion version	Proportion in shares
September 2011	ad : sad	1,1:1
	male : female	1,2:1
	male № 8 : female № 3	1:1,3
	male № 9 : female № 4	5:1
August—september 2016	ad : sad	54:0
	male: female	2,4:1
	male № 9 : female № 4	1,5:1
	male № 10 : female № 5	10:1
	male № 11 : female № 6	1,3:1
	male № 12 : female № 7	2:1
	male № 13	5:0

К уже отмеченным особенностям соотношения возрастных групп и возможных причинам отсутствия неполовозрелых особей в осенний сезон 2016 года следует добавить, что в полевые сезоны 2010 и 2011 годов количество неполовозрелых особей было почти равно количеству половозрелых животных [3]. В последующие три года (2012, 2013 и 2014 годов), как и осенью 2016, наблюдалась картина резкого увеличения доли взрослых животных (в 13,3; 31,3 и 22 раза соответственно).

Таким образом, шел процесс увеличения доли половозрелых животных, который в 2016 году привел к полному исчезновению неполовозрелых особей из осенней популяции. Очевидно, что снижение доли особей дорепродуктивного возраста неизбежно приводит к снижению демографического потенциала популяции.

Материалы по соотношению половых групп дополнили картину процесса нарушения половозрастной структуры популяции. В весенние сезоны 2010—2014 годов количество самцов было почти равно количеству самок (в 2010, 2011 и 2013 годах самок было немного больше, чем самцов; в 2012 год самцов было чуть больше, чем самок, и, наконец, в 2014 год соотношение было равно 1:1) [3]. Половая структура поселения осени 2016 года была абсолютно иной: количество самцов значительно превысило количество самок во всех размерно-возрастных группах вплоть до того, что самок самой старшей возрастной группы вообще не было (см. табл. 2).

Наличие значительного количества самцов и самок в возрасте 3—4 лет в материалах осени 2016 года позволило также внести некоторые уточнения в ранее сделанное предположение о времени полной смены населения исследуемой популяции. Теперь можно со значительной долей вероятности утверждать, что практически полная смена населения популяции круглоголовки-вертихвостки, может происходить как за 2, так и за 3—4 года.

Ранее описанные [12] резкие колебания численности популяции данного вида служат наглядным примером хорошо известной особенности популяций видов с коротким сроком жизни, которому соответствует лабильный тип динамики численности [4]. Половозрастная структура таких видов, очевидно, также имеет лабильный характер.

Полученные материалы и их подробный анализ позволяют сделать следующие выводы.

### Выводы

1. Осенняя популяция круглоголовок-вертихвосток достоверно распадается на несколько половозрастных групп: 1—2 группы молодняка, 2—4 группы самок и 2—5 групп самцов.
2. В осенний сезон в популяции преобладают самцы, особенно велик был численный перевес самцов в осенний сезон 2016 года.
3. Отсутствие в осенней популяции 2016 года неполовозрелых особей, значительный перевес старших возрастных групп и преобладание самцов среди половозрелых животных создали картину ее общего старения и депрессии.
4. Лабильность типа динамики численности, характерная для коротко живущих видов, может быть одной из характеристик, способствующих процессам популяционной депрессии вида.
5. Практически полная смена численности исследуемой популяции круглоголовки-вертихвостки, вероятно, может происходить как за 2, так и за 3—4 года.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] *Полынова Г.В., Бажинова А.В.* Материалы по демографической структуре популяции круглоголовки-вертихвостки в районе поселка Досанг Астраханской области // Сб. науч. тр. Всеросс. конф. «Актуальные проблемы экологии и природопользования». М.: Изд-во РУДН, 2011. Вып. 13. Т. 1. С. 156—161.

- [2] *Полынова Г.В., Бажина А.В.* Новые данные по половозрастной структуре популяции круглоголовки-вертихвостки (*Phrynocephalus guttatus guttatus*) в песчаных полупустынях Астраханской области // Материалы VII межд. конф. Украин. герпетологического об-ва. Украина: Вилково, 14–18 октября 2013. С. 140–147.
- [3] *Полынова Г.В., Бажина А.В., Полынова О.Е.* Динамика половозрастной популяции круглоголовки-вертихвостки (*Phrynocephalus guttatus guttatus Gmel.*) в песчаных полупустынях Астраханской области // Вестник РУДН. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2014. № 4. С. 11–24.
- [4] *Наумов Н.П.* Экология животных. 2-е изд. М.: Высшая школа, 1963. 618 с.
- [5] *Банников А.Г., Даревский И.С., Ищенко В.Г., Рустамов А.К., Щербак Н.Н.* Определитель земноводных и пресмыкающихся фауны СССР. М.: Просвещение, 1977. 415 с.
- [6] *Брушко З.К.* Ящерицы пустынь Казахстана. Алматы: Конжык, 1995. 231 с.
- [7] *Tinkle D.W., Woodward D.W.* Relative movements of lizards in natural populations as determined from receptive radii // *Ecology*. 1967. V. 48. No. 1. P. 166–168.
- [8] *Полынова Г.В., Бажина А.В., Окитейн И.Л.* Материалы по росту меченных круглоголовок-вертихвосток (*Phrynocephalus guttatus guttatus Gmel.*) как ключ к выделению половозрастных групп в популяции // Вопросы герпетологии. Материалы V съезда Герпетологического об-ва им. А.М. Никольского. Минск: ИООО «Право и экономика», 2012. С. 252–256.
- [9] *Сергеев А.М.* Материалы по постэмбриональному росту рептилий // Зоологический журнал. 1939. Т. 28. В. 5. С. 888–903.
- [10] *Богданов О.П.* Фауна Узбекской ССР. Земноводные и пресмыкающиеся. Ташкент, 1950. Т. 1. 260 с.
- [11] *Кубыкин Р.А.* Экологические наблюдения над мечеными круглоголовками-вертихвостками в низовьях реки Или, Южное Прибалхашье // Вопросы герпетологии. Тезисы докл. IV всесоюз. герпетологической конф. Л.: Наука, 1977. С. 122–123.
- [12] *Полынова Г.В.* Динамика численности круглоголовки-вертихвостки (*Phrynocephalus guttatus guttatus Gmel.*) в песчаных полупустынях Астраханской области // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2014. Т. 16. № 5. С. 443–444.

© Полынова Г.В., Мишустин С.С., 2017

#### История статьи:

Дата поступления в редакцию: 19.04.2017

Дата принятия к печати: 28.08.2017

#### Для цитирования:

**Полынова Г.В., Мишустин С.С.** Сезонные изменения половозрастной структуры популяции круглоголовки-вертихвостки (*Phrynocephalus guttatus guttatus Gmel.*) // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности*. 2017. Т. 25. № 3. С. 431–441. DOI 10.22363/2313-2310-2017-25-3-431-441

#### Сведения об авторах:

*Полынова Галина Вячеславовна* — кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры системной экологии Российского университета дружбы народов. E-mail: polynova\_gv@rudn.university

*Мишустин Станислав Сергеевич* — аспирант кафедры системной экологии Российского университета дружбы народов». E-mail: mishustin\_ss@rudn.university

## SEASONAL CHANGES IN THE *PHRYNOCEPHALUS GUTTATUS GUTTATUS* GMEL. POPULATION AGE AND SEX STRUCTURE

G.V. Polynova, S.S. Mishustin

Department of System Ecology  
Peoples' Friendship University of Russia  
Miklukho-Maklaya str., 6, Moscow, Russia, 117198

The autumn studies of the *Phrynocephalus guttatus guttatus* Gmel. population in the Astrakhan semi-deserts (August 2011 and August — September 2016) revealed the following features of its age and sex structure. The autumn settlement of the species reliably splits into several age groups: 1—2 group of young, 2—4 groups of females and 2—5 group of males. In the fall season the settlement is dominated by males, especially great was the numerical superiority of the males in the fall season of 2016. The lack of immature individuals, the significant prevalence of older age groups and the predominance of males among adult animals in the autumn 2016 create the picture of the population depression. The unsustainable type of population dynamics, typical for short-living species, may be one of the characteristics that stimulates the processes of population depression. Almost complete replacement of the population is likely to occur both in two or 3—4 years.

**Key words:** population, demographic structure, *Phrynocephalus guttatus guttatus* Gmel., sandy semi-deserts

### REFERENCES

- [1] Polynova G.V., Bazhinova A.V. Materialy po demograficheskoj strukture populyacii kruglogolovki-vertihvostki v rajone poselka Dosang Astrahanskoj oblasti // Sbornik nauchnyh trudov Vserossijskoj konferencii «Aktual'nye problemy ehkologii i prirodnopol'zovaniya». M.: Izd-vo RUDN, 2011. Вып. 13. Т. 1. С. 156—161.
- [2] Polynova G.V., Bazhinova A.V. Novye dannye po polovozrastnoj strukture populyacii kruglogolovki-vertihvostki (*Phrynocephalus guttatus guttatus*) v peschanyh polupustynyah Astrahanskoj oblasti // Materialy VII mezhdunarodnoj konferencii Ukrainского gerpetologicheskogo obshchestva. Ukraina: Vilkovo, 14—18 oktyabrya 2013. Pp. 140—147.
- [3] Polynova G.V., Bazhinova A.V., Polynova O.E. Dinamika polovozrastnoj populyacii kruglogolovki-vertihvostki (*Phrynocephalus guttatus guttatus* Gmel.) v peschanyh polupustynyah Astrahanskoj oblasti // Vestnik RUDN, seriya ehkologiya i bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti. 2014. № 4. С. 11—24.
- [4] Naumov N.P. Ehkologiya zhivotnyh. 2-e izd. M.: Vysshaya shkola, 1963. 618 s.
- [5] Bannikov A.G., Darevskij I.S., Ishchenko V.G., Rustamov A.K., Shcherbak N.N. Opredelitel' zemnovodnyh i presmykayushchihysya fauny SSSR. M.: Prosveshchenie, 1977. 415 s.
- [6] Brushko Z.K. Yashchericy pustyn' Kazahstana. Almaty: Konzhyk, 1995. 231 s.
- [7] Tinkle D.W., Woodward D.W. Relative movements of lizards in natural populations as determined from receptive radii // Ecology. 1967. V. 48. No. 1. P. 166—168.
- [8] Polynova G.V., Bazhinova A.V., Okshtejn I.L. Materialy po rostu mechennyh kruglogolovok-vertihvostok (*Phrynocephalus guttatus guttatus* Gmel.) kak klyuch k vydeleniyu polovozrastnyh grupp v populyacii // Voprosy gerpetologii. Materialy V s'ezda Gerpetologicheskogo ob-va im. A.M. Nikol'skogo. Minsk: IOOO "Pravo i ehkonomika", 2012. С. 252—256.
- [9] Sergeev A.M. Materialy po postehmbriional'nomu rostu reptilij // Zoologicheskij zhurnal. 1939. Vol. 28(5). Pp. 888—903.
- [10] Bogdanov O.P. Fauna Uzbekskoj SSR. Zemnovodnye i presmykayushchiesya. Tashkent, 1950. Vol. 1. 260 p.

- [11] Kubykin R.A. Ehkologicheskie nablyudeniya nad mechennymi kruglogolovkami-vertihvostkami v nizov'yah reki ili, Yuzhnoe Pribalhash'e // Voprosy gerpetologii. Tezisy dokladov IV vsesoyuznoj gerpetologicheskoy konferencii. L.: Nauka, 1977. Pp. 122–123.
- [12] Polynova G.V. Dinamika chislennosti kruglogolovki-vertihvostki (*Phrynocephalus guttatus guttatus* Gmel.) v peschanyh polupustynyah Astrahanskoj oblasti // Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk. 2014. T. 16. No. 5. S. 443–444.

**Article history:**

Received: 19.04.2017

Revised: 28.08.2017

**For citation:**

**Polynova G.V., Mishustin S.S. (2017) Seasonal changes in the *Phrynocephalus guttatus guttatus* Gmel. population age and sex structure. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*, 25 (3), 431–441. DOI 10.22363/2313-2310-2017-25-3-431-441**

**Bio Note:**

*Polynova Galina Vyacheslavovna* — candidate of biological science, associate professor, associate professor of the Department of System Ecology of Peoples' Friendship University of Russia. E-mail: polynova\_gv@rudn.university

*Mishustin Stanislav Sergeevich* — postgraduate student at the Department of System Ecology of Peoples' Friendship University of Russia. E-mail: mishustin\_ss@rudn.university



DOI 10.22363/2313-2310-2017-25-3-442-447

УДК 338.4: 332.85

## ПОДХОДЫ К УЧЕТУ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ЦЕНЫ НА НЕДВИЖИМОСТЬ НА ПРИМЕРЕ Г. АСТАНЫ

К.К. Ахмединова

Российский университет дружбы народов  
Подольское шоссе, 8/5, Москва, Россия, 115093

Проблемы окружающей среды в современном мире приобретают негативные последствия, тем самым подчеркивая их актуальность на сегодняшний день. Экологическая обстановка, особенно в крупных и промышленных городах, является опасной для жителей этих городов по причине несоответствия экологическим нормам. Как следствие, одним из перспективных векторов городской политики, направленных на эффективное использование земельных ресурсов, становится учет экологических факторов при оценке стоимости недвижимости. Стоимость на недвижимость формируется путем учета совокупности физических, экономических, социальных и административных факторов. Данная статья посвящена изучению экологических факторов с позиции их влияния на ценообразование жилья. По причине невысокого экологического образования, пассивности полноценного осмысленного выбора, жители зачастую приобретают недвижимость руководствуясь лишь престижем и субъективной визуальной оценкой. Однако ценность экологических благ заметно увеличивается, когда экологический фактор выступает в качестве лимитирующего.

**Ключевые слова:** экологический фактор, стоимость недвижимости, ценообразование, принцип «справедливой рыночной цены», экологическая экспертиза

На стоимость недвижимости помимо экономических, социальных и административных факторов существенное значение оказывают физические факторы, среди которых особое место занимают экологическая обстановка и состояние окружающей среды. В качестве *экологических факторов* в контексте оценки недвижимости выступают природные и природно-антропогенные факторы, не являющиеся средствами труда, предметами потребления или источниками энергии и сырья, но оказывающие непосредственное воздействие на эффективность и полезность использования объекта недвижимости.

При оценке объектов недвижимости, предназначенных для проживания людей и ведения непромышленной деятельности экологический фактор отражает принцип «справедливой рыночной цены» (fair market value) и включается в оценочную модель непосредственно. Исследования, проведенные в Германии и Швейцарии, показывают, что влияние экологических факторов (шум, загрязнение воздуха), характеризующих объект недвижимости, может формировать до 30% стоимости [3].

К сожалению, зачастую на казахстанском рынке недвижимости цены не отражают действия экологических факторов, а связаны с текущим экономическим



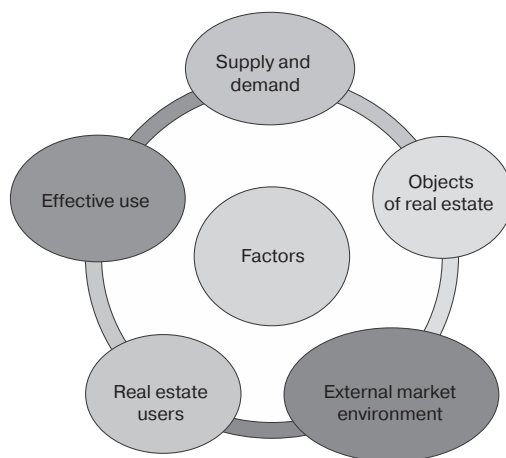
состоянием. Поэтому наблюдается спад ценности экологических благ. Однако существует объективная закономерность роста ценности экологических благ, зависящая от роста уровня жизни. Исходя из закона предельной полезности, возникают повышающиеся потребности у покупателя объекта недвижимости не только в традиционных экологически чистых благах (отсутствие загрязнения воздуха, шума, наличие зеленых насаждений), но и в получении психосоциального экологического эффекта (возможность видеть из окон своего дома или офиса красивый природный ландшафт, прямого контакта с естественной природной средой и др.) [6]. Именно по причине того, что человек руководствуется лишь визуальной оценкой окружающей среды, недостаточно владеет информацией о состоянии территории, качестве материалов, используемых при жилищном строительстве, совершаются необдуманные решения покупки жилья. Незаинтересованность строительных компаний в распространении такой информации и отсутствие отработанной системы и механизма доведения ее государственными органами до сведения населения становятся основной причиной продолжения роста цен на недвижимость.

В целом влияние экологического фактора на стоимость недвижимости выявить достаточно трудно. В основном, на стоимость недвижимости действуют несколько факторов одновременно [1].

Для оценки стоимости применяется система взаимосвязанных факторов, которые учитывают оценщики (рис. 1) [2].



**Рис. 1.** Система взаимосвязанных факторов процесса оценки недвижимости



**Fig. 1.** System of interrelated factors in the process of real estate valuation

В процессе оценки должны учитываться все эти факторы, однако приоритетность каждого фактора и его значение может меняться. Значимость каждого фактора оценивается определенной ситуацией [4].

Для покупателей важны следующие основные факторы (рис. 2).

Специальное внимание при экономической оценке недвижимости уделяется экологическим характеристикам, включая загрязнение воздуха, шумовое и радиационное загрязнение, наличие зеленых насаждений. Все факторы можно разделить на две группы: управляемые и неуправляемые (рис. 3).

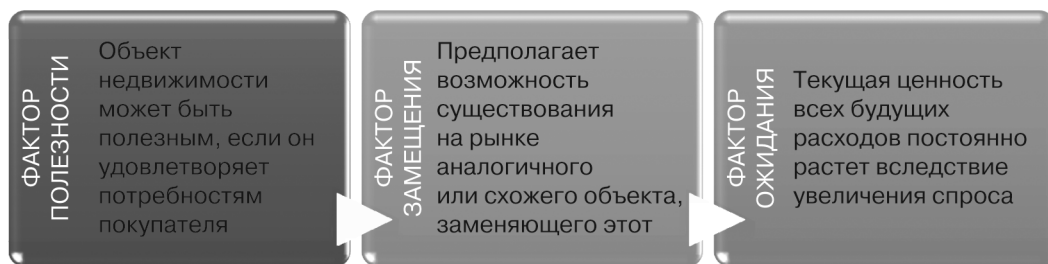


Рис. 2. Факторы, учитываемые покупателем

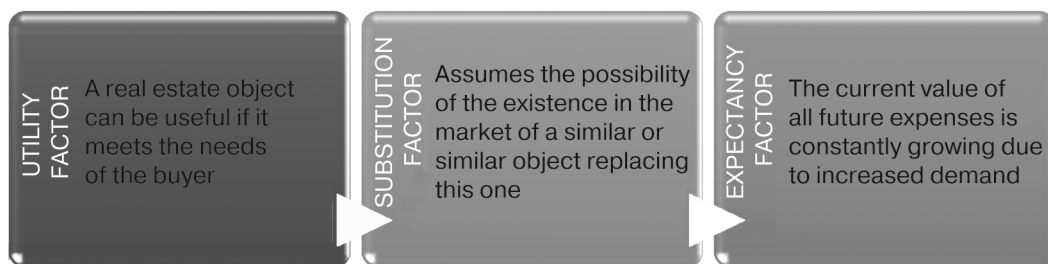


Fig. 2. Factors taken into account by the buyer

Эмпирически доказано, что стоимость квартир, расположенных в районах с загрязненным воздухом, существенно ниже стоимости тех, которые находятся в экологически чистых районах [5].

Представленная классификация условна и легко форматируема. Представление о разделении факторов напрямую зависит от научно-технического прогресса и социально-экономического развития в определенном взятом регионе. Так, например, фактор шумового загрязнения можно взять как за управляемый фактор. Этому способствует наличие шумопоглощающих технологий. Но на слабо-развитых территориях использование таких технологий невозможно, и, следовательно, фактор становится неуправляемым.

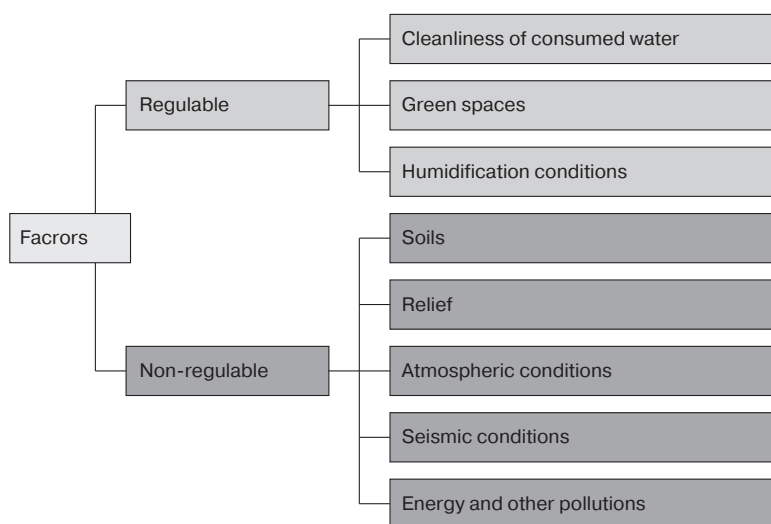
Для качественного определения состояния природно-антропогенной среды, позволяющего выделить параметры экологического загрязнения, необходимо проведение экспертизы. Определение параметров при экспертизе анализируют с позиции негативного и положительного воздействия. В свою очередь, негативное воздействие должно анализироваться по трем основным компонентам: механическое, химическое и физическое.

При проведении экспертизы, помимо приведенных ранее негативных воздействий учитываются и благоприятные экологические факторы, которые вносят вклад в ценообразование самой недвижимости. Такие благоприятные факторы носят, зачастую, явный психоэмоциональный характер. К ним можно отнести:

- 1) присутствие природного ландшафта и возможность любования им непосредственно из окон объекта недвижимости;
- 2) быстрая доступность и использование экологически чистых объектов (парк, водоем и др.);
- 3) разнообразие видов зеленых насаждений.



**Рис. 3.** Экологические факторы, влияющие на стоимость недвижимого имущества



**Fig. 3.** Environmental factors affecting the value of real estate

Безусловно, приведенный список критериев не является конечным. Использование их в качестве оценки зависит от местности. Следовательно, для оценки достаточно изучение качественного состояния при условии полного раскрытия каждого компонента.

Таким образом, экологический фактор — важный фактор в ценообразовании недвижимости. Однако стоит отметить, что эта зависимость не линейна, если экологический фактор не выступает в качестве лимитирующего фактора. Стоимость недвижимости нужно рассматривать в совокупности со всеми остальными факторами, такими как социальный, экономический и др. На данный момент, российская и казахстанская практика в области оценки недвижимости с позиции учета экологических факторов распространена незначительно.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] *Битюкова В.Р., Махрова А.Г., Соколова Е.П.* Экологическая ситуация как фактор дифференциации цен на жилье в г. Москве // *Вестник Московского университета. Сер. 5. Геогр.* 2006. № 6. С. 34—41.
- [2] *Волков Д.Л.* Экономика и финансы недвижимости. Санкт-Петербург: Изд-во Санкт-Петербургского университета, 1999. 32 с.
- [3] *Грехов М.А.* Развитие кадастровой оценки земель промышленного назначения с учетом экологических факторов: автореф. дисс. ... канд. эконом. наук. М., 2015. 25 с.
- [4] *Грязнова А.Г., Федотова М.А.* Оценка недвижимости. 2-е изд., испр. и доп. М.: Финансы и статистика, 2007. 496 с.
- [5] *Дворецкий Л.М.* Применение гедонического метода для оценки влияния экологического фактора на стоимость недвижимости в г. Москве // *Экономика природопользования.* 2003. № 6. С. 55—61.
- [6] Оценка недвижимости. Гл. 14. Оценка влияния экологических факторов на стоимость недвижимости. Электронный ресурс. URL: <http://ggf.bsu.edu.ru/> (дата обращения: 15.12.2016).

© Ахмединова К.К., 2017

### История статьи:

Дата поступления в редакцию: 21.07.2017

Дата принятия к печати: 28.08.2017

### Для цитирования:

Ахмединова К.К. Подходы к учету экологических факторов при формировании цены на недвижимость на примере г. Астана // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности.* 2017. Т. 25. № 3. С. 442—447. DOI 10.22363/2313-2310-2017-25-3-442-447

### Сведения об авторе:

Ахмединова Камила Кайратовна — ассистент кафедры прикладной экологии Российского университета дружбы народов, магистр экологии и природопользования. E-mail: [akhmedinovakamila@gmail.com](mailto:akhmedinovakamila@gmail.com)

## APPROACHES TO ACCOUNTING ENVIRONMENTAL FACTORS IN FORMING THE PRICE FOR REAL ESTATE BY THE EXAMPLE OF ASTANA

**К.К. Akhmedinova**

Peoples' Friendship University of Russia  
Podolskoe shosse, 8/5, Moscow, Russia, 115093

Problems of the environment in the modern world have negative consequences, thereby emphasizing the urgency for today. The ecological situation, especially in large and industrial cities, is dangerous for residents of these cities due to non-compliance with environmental standards. As a consequence, one of the promising vectors of urban policy aimed at the effective use of land resources is the inclusion of environmental factors in the valuation of real estate. The cost of real estate is formed by taking into

account the aggregate of physical, economic, social and administrative factors. This article is devoted to the study of environmental factors from the perspective of their influence on housing pricing. Due to low environmental education, passivity of meaningful choice, residents often acquire real estate guided only by prestige and subjective visual assessment. However, the value of environmental goods increases markedly when the environmental factor acts as a limiting factor.

**Key words:** ecological factor, real estate value, pricing, the principle of “fair market value”, environmental expertise

## REFERENCES

- [1] Bityukova V.R., Mahrova A.G., Sokolova E.P. Ekologicheskaya situatsiya kak faktor differentsiatsii tsen na zhile v g. Moskve [Environmental situation as a factor in the differentiation of housing prices in Moscow]. *Vestnik Moskovskogo universiteta*. Ser. 5. Geogr. 2006. Vol. 6. Pp. 34–41. (in Russ.)
- [2] Volkov D.L. *Ekonomika i finansyi nedvizhimosti* [Economics and finance of real estate]. Saint-Petersburg: Saint-Petersburg State University Publ., 1999. 32 pp. (in Russ.)
- [3] Grehov M.A. Dissertatsiya «Razvitie kadaastrovoy otsenki zemel promyshlennogo naznacheniya s uchetom ekologicheskikh faktorov» [Development of cadastral valuation of industrial lands with regard to environmental factors]. M., 2015. (in Russ.)
- [4] Gryaznova A.G., Fedotova M.A. *Otsenka nedvizhimosti* [Property valuation]. 2<sup>nd</sup> edit. M.: Finansyi i statistika Publ., 2007. (in Russ.)
- [5] Dvoretzkiy L.M. *Primenenie gedonicheskogo metoda dlya otsenki vliyaniya ekologicheskogo faktora na stoimost nedvizhimosti v g. Moskve* [The application of the hedonic method for assessing the impact of the environmental factor on the value of real estate in Moscow]. *Ekonomika prirodopolzovaniya*. M., 2003. Vol. 6. Pp. 55–61. (in Russ.)

### Article history:

Received: 21.07.2017

Revised: 28.08.2017

### For citation:

**Akhmedinova K.K. (2017) Approaches to accounting environmental factors in forming the price for real estate by the example of Astana. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*, 25 (3), 442–447. DOI 10.22363/2313-2310-2017-25-3-442-447**

### Bio Note:

*Akhmedinova Kamila Kayratovna* — Assistant of the Department of Applied Ecology, Federal Autonomous Educational Institution of Higher Education “Peoples’ Friendship University of Russia”. E-mail: akhmedinovakamila@gmail.com



DOI 10.22363/2313-2310-2017-25-3-448-454

УДК 502.37

## ИННОВАЦИОННЫЙ ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ПРОЕКТ «ЗЕЛЕНый КАМПУС РУДН»

А.П. Хаустов, М.М. Редина, А.М. Алейникова, Р.Х. Мамаджанов, П.Ю. Силаева

Российский университет дружбы народов  
Подольское ш., 8/5, Москва, Россия, 115093

Представлены первые результаты реализации инициативного проекта, реализуемого сотрудниками экологического факультета РУДН. Проект направлен на получение информации об экологической ситуации и основных источниках воздействия на территорию кампуса РУДН.

Вместе с достижением этой цели решается важнейшая задача — развитие практических навыков и компетенций, формирование профессиональной экологической культуры у студентов-экологов.

Для РУДН, как национального координатора в международном движении зеленых университетов Green Metric, организованном Университетом Индонезии, проект является знаковым и позволяет университету на собственном примере демонстрировать студентам возможности по экологизации и достижению устойчивого развития даже для непромышленной организации.

**Ключевые слова:** РУДН, экологический мониторинг, кампус, образовательный проект

Вопросам экологизации образования в Российском университете дружбы народов (РУДН) в течение многих лет уделяет значительное внимание. В 1992 г. один из первых в стране был создан экологический факультет для подготовки квалифицированных специалистов по направлению «Экология и природопользование». Преподаватели университета и студенты — признанные лидеры в продвижении экологической культуры. За последние годы реализованы проекты по разделному сбору отходов на территории кампуса, сформировались профессиональные студенческие объединения экологической направленности из числа студентов экологического факультета.

Проект — часть работы, которую Российский университет дружбы народов проводит как участник движения зеленых университетов. Партнерская сеть вузов, уделяющих самое пристальное внимание проблемам окружающей среды, объединяет более 600 университетов по всему миру. Вузы представляют результаты своей работы в ежегодном рейтинге Green Metric World University Ranking, созданном командой Университета Индонезии. РУДН успешно стартовал в 2016 г., заняв 115 место в рейтинге, а с 2017 г. является национальным координатором этой программы в России.

*Актуальность проекта* связана с необходимостью: усиления практической составляющей в подготовке специалистов-экологов; оценки техногенного давления

на уникальную территорию кампуса при интенсивном развитии инфраструктуры района; с потребностью: в повышении общей экологической культуры населения (включая студентов и сотрудников университета); в обеспечении конкурентоспособности российских вузов (в том числе — за счет подтверждения экологичности) и их привлекательности для зарубежных абитуриентов.

Роль вуза рассматривается с принципиально новых позиций. Во-первых, вуз — это не только место получения знаний, но и проводник экологической культуры, заведение должно стать примером экологичности для всех специальностей учащихся и персонала, а также для других вузов России. Во-вторых, практическая реализация различных методов оценки техногенного давления на социально значимую территорию — кампус, как место «компактного проживания» более 8 тыс. студентов из 155 стран мира и сотрудников университета. В-третьих, освоение практических навыков экологического мониторинга с применением передовых аналитических исследований на основе приборного оборудования факультета и Аналитического центра РУДН. В-четвертых, широкое применение полученных данных на лекционных курсах и при проведении практических занятий по комплексу дисциплин бакалаврского и магистерского обучения.

*Механизмы реализации проекта.* Проект реализуется с сентября 2016 г. и запланирован как многолетний. В настоящее время получены первые результаты, которые успешно внедряются в образовательный процесс на всех уровнях (от бакалавриата до магистратуры). Проект включен в программы развития университета. Механизмы реализации включают следующие меры:

*организационные:*

- формирование инициативной студенческой группы с их последующим разделением по направлениям работ (контроль качества компонентов городской экосистемы, обработка данных, подготовка учебных материалов и др.);
- подготовка методической базы для реализации методов контроля окружающей среды, аналитических исследований, обработки результатов;
- создание учебных материалов для использования в учебном процессе;
- развитие партнерской сети университетов;
- сотрудничество с профильными организациями (ЦОДД Правительства Москвы, Института Геоэкологии РАН, НПО «Тайфун», независимые аккредитованные эколого-аналитические лаборатории др.).

*экономические:* с 2017 г. проект реализуется как инициативная тема НИР с финансированием из средств факультета;

*информационные:*

- представление результатов на профильных мероприятиях, в научных изданиях, СМИ;
- организация и проведение круглого стола «Зеленые университеты» в рамках сотрудничества с UI Green Metric;
- подготовка и издание комплекта карт техногенной нагрузки на территории РУДН;
- подготовка образовательного курса по результатам проекта, включая учебные издания.

*Цели и задачи проекта* включают следующие основные моменты.

1. Разработка практико-ориентированного образовательного комплекса на примере реального объекта — социально значимой территории, испытывающей техногенные нагрузки.

2. Повышение эффективности подготовки выпускников за счет активного вовлечения их в реализацию программы мониторинга и обработку результатов.

3. Повышение международной конкурентоспособности российских вузов за счет отработки механизмов участия в рейтингах устойчивого развития, экологичности, социальной ответственности.

4. Формирование экологической политики вуза на основе данных мониторинга, включая цели улучшения экологических показателей, социальной ответственности, экологической культуры.

5. Формирование у преподавателей и студентов профессиональной этики и корпоративной ответственности, экологической культуры, взаимодействия студентов различных курсов и групп на основе реализации поставленных цели и задач.

6. Оценка сложившейся композиции функционально-планировочной структуры территории кампуса и прилегающих градостроительных зон.

7. Расчеты значений частной емкости среды и природно-ресурсного потенциала кампуса.

8. Разработка концепции и создание системы экологического мониторинга кампуса.

9. Проведение и обоснование экологического зонирования кампуса на основе полученных данных и сложившейся селитебной ситуации и модулей техногенных нагрузок.

10. Выработка практических рекомендаций по улучшению экологических показателей и поддержки оптимальных условий на территории и оптимизация людских и материальных потоков совместно с административными службами РУДН.

11. Информирование заинтересованных сторон о динамике экологической ситуации, публикации, подготовка специализированных отчетов.

В результате проведенных исследований планируется выработка концепции устойчивого развития «зеленого университета» на основе количественных оценок данных о различных аспектах природопользования в университете.

Оценка состояния среды базируется на аналитических работах: в рамках первого этапа мониторинга было отобрано 30 проб снега, 30 проб почв, 30 проб растительности, проведены около 3000 измерений качества воздуха (контроль содержания загрязняющих веществ: диоксиды азота, сероводорода, сажи, бенз(а)пирена, монооксида углерода), интенсивности шума, уровни ЭМП и радиации. Получена и обрабатывается информация с веб-камер, расположенных на ул. Миклухо-Маклая и Ленинском проспекте, за круглосуточные интервалы в целях оценки фактических объемов выбросов автотранспорта в зависимости от интенсивности.

По результатам построены карты:

— концентрации бенз(а)пирена в снеговом покрове;



- суммы концентраций полициклических ароматических углеводородов в снеговом покрове;
- концентрации сажи в снеговом покрове;
- концентрации сероводорода в атмосферном воздухе;
- концентрации диоксида азота в атмосферном воздухе;
- уровни шума;
- уровня радиационного фона.

Результаты работ положены в основу выпускных квалификационных работ учащихся РУДН (7 работ) и диссертационных исследований аспирантов.

Материалы работ вошли в 2 учебных пособия, в том числе сборник практических заданий для студентов бакалавриата и комплексное учебное пособие “Economics of natural resources management” для одноименной англоязычной магистерской программы (реализуется преимущественно для зарубежных студентов).

Также результаты работы используются при подготовке материалов для участия РУДН в рейтинге «Зеленых университетов» (UI Green Metric World University Ranking).

В целом результаты проекта по предварительным данным позволили оценить состояние территории кампуса как относительно удовлетворительное с отдельными очагами повышенной техногенной нагрузки.

Привлечение студентов к реализации проекта позволило существенно повысить их заинтересованность в освоении методов контроля и нормирования качества окружающей среды, экологического моделирования, эколого-экономических оценок. Обучение, в ходе которого студент применяет на практике комплекс полученных теоретических знаний, еще раз подтвердило свою эффективность.

Помимо непосредственно вопросов мониторинга и анализа результатов участие в проекте вызвало дополнительный интерес к родственным направлениям работы: студентами был разработан проект по обустройству площадки — коворкинга, совмещенной с пунктом автоматического мониторинга воздуха (проект номинировался на конкурс, поддержанный Правительством Москвы).

Активная работа в профильных группах (в соответствии с различными программами мониторинга) формирует у студентов лидерские качества.

Частично результаты проекта задействованы для привлечения школьников — потенциальных абитуриентов РУДН.

Результаты проекта стали составной частью общей стратегии повышения конкурентоспособности вуза. Распространение опыта РУДН позволит повысить интерес российских вузов к вопросам экологизации. Авторы рассматривают это как возможность формировать экологическую культуру учащихся на практическом примере собственного вуза, который выступает не просто как центр распространения знаний, но и как площадка для пробации экологичных технологий, энерго- и ресурсосбережения.

Для РУДН полученные данные — важнейшая основа формирования экологической политики, включая цели улучшения экологических показателей, социальной ответственности, экологической культуры.

По результатам проекта к настоящему времени опубликованы следующие материалы.

1. Хаустов А.П., Редина М.М., Алейникова А.М., Мамаджанов Р.Х. Техносферная безопасность социально значимых территорий: экологический мониторинг кампуса РУДН / В сб.: V Межд. науч.-практ. конф. «Экологическая геология: теория, практика и региональные проблемы» (13—15 сентября 2017). Воронеж—Севастополь: Изд-во «Научная книга», 2017. 472 с.

2. Khaustov A., Redina M., Aleinikova A., Mamadzhanov R. Green campus of the green university: the RUDN-university experience / 17th International Multidisciplinary Scientific Geo Conference SGEM 2017, [www.sgem.org](http://www.sgem.org), SGEM2017 Conference Proceedings. ISBN978-619-7408-11-9 / ISSN1314-2704. 29 June — 5 July, 2017. Vol. 17. Issue 54. 65—72 pp.

3. Хаустов А.П., Редина М.М., Алейникова А.М., Мамаджанов Р.Х. Оценка экологических функций зеленой зоны социально значимых объектов на примере кампуса РУДН / Зеленая инфраструктура городской среды: современное состояние и перспективы развития: Сб. Материалов межд. науч.-практ. конф. М.: Науч.-изд. центр «Актуальность. РФ», 2017. С. 88—90.

4. Redina M., Khaustov A. Sustainability of the University — Environmental Responsibility of the Students: Experience of the RUDN-University [Электронный документ]. URL: <http://iwgm.ui.ac.id/wp-content/uploads/11/2017/05/Abstract-RUDN-University-Sustainability-of-the-University-Environmental-Responsibility-of-the-Students-Experience-of-the-RUDN-University.pdf> (дата обращения: 09.07.2017).

© Хаустов А.П., Редина М.М., Алейникова А.М.,  
Мамаджанов Р.Х., Силаева П.Ю., 2017

#### **История статьи:**

Дата поступления в редакцию: 16.07.2017

Дата принятия к печати: 28.08.2017

#### **Для цитирования:**

Хаустов А.П., Редина М.М., Алейникова А.М., Мамаджанов Р.Х., Силаева П.Ю. Инновационный экологический образовательный проект «Зеленый кампус РУДН» // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности.* 2017. Т. 25. № 3. С. 448—454. DOI 10.22363/2313-2310-2017-25-3-448-454

#### **Сведения об авторах:**

*Хаустов Александр Петрович* — доктор геол.-мин. наук, профессор, профессор кафедры прикладной экологии Российского университета дружбы народов, Заслуженный работник высшей школы Российской Федерации. E-mail: [khaustov\\_ap@rudn.university](mailto:khaustov_ap@rudn.university)

*Редина Маргарита Михайловна* — доктор экон. наук, доцент, декан экологического факультета, заведующая кафедрой прикладной экологии Российского университета дружбы народов. E-mail: [redina\\_mm@rudn.university](mailto:redina_mm@rudn.university)

*Алейникова Анна Михайловна* — кандидат геогр. наук, доцент, доцент кафедры геоэкологии Российского университета дружбы народов. E-mail: [aleinikova\\_am@rudn.university](mailto:aleinikova_am@rudn.university)

*Мамаджанов Роман Хасанович* — кандидатбиол. наук, старший преподаватель кафедры прикладной экологии Российского университета дружбы народов. E-mail: mamadzhanov\_rkh@rudn.university

*Силаева Полина Юрьевна* — ассистент кафедры прикладной экологии Российского университета дружбы народов. E-mail: mamadzhanov\_rkh@rudn.university

## **INNOVATIVE ENVIRONMENTAL EDUCATIONAL PROJECT “GREEN CAMPUS OF RUDN-UNIVERSITY”**

**A.P. Khaustov, M.M. Redina, A.M. Aleynikova, R.Kh. Mamadzhanov, P.Yu. Silaeva**

Peoples' Friendship University of Russia  
*Podolskoe shosse, 8/5, Moscow, Russia, 115093*

The first results of the implementation of the initiative project realized by the employees of the ecological faculty of the RUDN-University are presented. The project is aimed at obtaining information on the environmental situation and the main sources of impact on the territory of the RUDN-University' campus.

Together with the achievement of this goal, the most important task is solved — the development of practical skills and competences, the formation of a professional ecological culture among environmental students.

For the RUDN-University as a national coordinator in the Green Metric Green Universities international movement organized by the University of Indonesia, the project is a landmark and allows the university to demonstrate by its own example to students the opportunities for greening and achieving sustainability, even for non-productive organization.

**Key words:** RUDN-University, environmental monitoring, campus, educational project

### **Article history:**

Received: 16.07.2017

Revised: 28.08.2017

### **For citation:**

**Khaustov A.P., Redina M.M., Aleynikova A.M., Mamadzhanov R.Kh., Silaeva P.Yu. (2017) Innovative environmental educational project “Green Campus of RUDN-University”. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*, 25 (3), 448–454. DOI 10.22363/2313-2310-2017-25-3-448-454**

### **Bio Note:**

*Khaustov Alexander Petrovich* — Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor, Professor of the Department of Applied Ecology of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education “Peoples' Friendship University of Russia”, Honored Worker of the Higher School of the Russian Federation. E-mail: khaustov\_ap@rudn.university

*Redina Margarita Michaylovna* — Doctor of Economics Sciences, Associate Professor, Dean of the Faculty of Ecology, Head of the Department of Applied Ecology of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education “Peoples' Friendship University of Russia”. E-mail: redina\_mm@rudn.university

*Aleynikova Anna Mikhailovna* — Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Geoecology of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education “Peoples’ Friendship University of Russia”. E-mail: aleinikova\_am@rudn.university

*Mamadzhanov Roman Khasanovich* — Candidate of Biol. Sciences, senior lecturer of the Department of Applied Ecology of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education “Peoples’ Friendship University of Russia”. E-mail: mamadzhanov\_rkh@rudn.university

*Silaeva Polina Yurievna* — assistant of the Department of Applied Ecology, Federal Autonomous Educational Institution of Higher Education “Peoples’ Friendship University of Russia”. E-mail: silaevapolina@gmail.com

## ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ ДЛЯ ОПУБЛИКОВАНИЯ В НАУЧНОМ ЖУРНАЛЕ «ВЕСТНИК РУДН. СЕРИЯ: ЭКОЛОГИЯ И БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ»

1. Текст статьи должен быть набран на компьютере в текстовом редакторе Microsoft Word 6, 7, 97 или 2000 через 1,5 интервала шрифтом Times New Roman (размер шрифта 14 пт) на стандартных листах А4 (поля слева — 3 см, справа — 1 см, сверху и снизу — по 2,5 см). Объем статьи (вместе с таблицами, иллюстрациями и библиографией) не должен превышать 12 страниц.

2. Статья должна содержать в указанном порядке:

— название статьи; имя, отчество и фамилию авторов; полное название организации и ее структурного подразделения с указанием почтового адреса (улица, № дома, город, страна, почтовый индекс), аннотацию (5—7 строк) и ключевые слова (не менее 5 слов или словосочетаний);

— название статьи; инициалы и фамилию авторов; полное название организации и ее структурного подразделения с указанием почтового адреса (улица, № дома, почтовый индекс, город, страна), краткое содержание (до 200—250 слов) и ключевые слова (не менее 5 слов или словосочетаний) **на английском языке**;

— текст статьи;

— список литературы (по алфавиту; сначала — на русском языке, затем — на английском). **Список литературы должен быть переведен на английский язык и продублирован латинскими буквами.**

3. К статье должны быть приложены:

— две заверенные рецензии.

— сведения об авторах — полные имя фамилия, отчество, ученая степень, научное звание, место работы, электронный адрес.

*Образец шапки статьи:*

## СОСТОЯНИЕ АНТИОКИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ В КРОВИ МЫШЕЙ ПОСЛЕ ОБЛУЧЕНИЯ

**И.И. Иванов<sup>1</sup>, П.П. Петров<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Российский университет дружбы народов  
Подольское шоссе, 8/5, Москва, Россия, 115093

<sup>2</sup> Московский государственный университет  
Воробьевы горы, Москва, Россия, 119899

4. Повторение в статье одних и тех же данных в аннотации, тексте, таблицах и графиках не допускается. Таблицы и рисунки должны быть пронумерованы; в тексте статьи обязательна ссылка на таблицы и рисунки. Таблицы должны иметь

заголовок, а рисунки — подрисуночную подпись. **Принимаются только черно-белые рисунки** (в форматах .tif, .bmp, .jpg) в виде отдельных графических файлов.

5. Следует ограничиваться общепринятыми сокращениями и избегать введения новых сокращений без достаточных на то оснований. Введенные сокращения необходимо расшифровывать.

6. Ссылки на литературу в тексте статьи приводятся в квадратных скобках, например: [2] или [5—7], [5. С. 15]).

В списке литературы приводятся *только* источники, на которые в тексте статьи имеются ссылки. Список формируется по алфавиту (сначала источники на русском языке, затем — на английском). В списке литературы должны быть указаны:

*для книг:* фамилии и инициалы авторов, название книги, место издания, издательство, год издания;

*для статей из неперидических изданий (сборников):* фамилии и инициалы авторов, название статьи, название книги (сборника), место издания, издательство, год издания;

*для статей из периодических изданий:* фамилии и инициалы авторов, название статьи, название журнала, год издания, том и номер журнала, первая и последняя страницы статьи.

*Образец:*

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Бонд В.В. Сравнительная клеточная и видовая радиочувствительность. М.: Атомиздат, 1974. С. 5—17.
- [2] Роун Ш. Озоновый кризис. М.: Мир, 1993.
- [3] Connor M.J., Wheeler L.A. Depletion of cutaneous glutathione by ultraviolet radiation // Photochem. Photobiol. 1987. Vol. 46. № 2. P. 239—245.

7. Статья должна быть **подписана всеми авторами** (на последней странице) и иметь **визу** (на первой странице) заведующего кафедрой (для сотрудников РУДН) или иного руководителя (директора, декана, заведующего кафедрой или лабораторией — для авторов из сторонних организаций) **с расшифровкой подписи и указанием должности**.

8. В конце статьи необходимо указать фамилию, имя и отчество автора, с которым наиболее целесообразно контактировать по вопросам подготовки статьи к опубликованию, и его координаты (e-mail, номер дом. и раб. телефона).

Отзывы на отклоненные редколлегией статьи не предоставляются, рукописи не возвращаются. Ответственность за содержание статей несут авторы.

**Контактная информация:** [mgmakarova@yandex.ru](mailto:mgmakarova@yandex.ru), 89037823733 Макарова Марина Геннадьевна

ф. СП-1

ФГУП «ПОЧТА РОССИИ»

**АБОНЕМЕНТ** на журнал

**20829**

(индекс издания)

**ВЕСТНИК РУДН**

**Серия «Экология  
и безопасность жизне-  
деятельности»**

Количество  
комплектов:

на 2017 год по месяцам

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Куда

(почтовый индекс)

(адрес)

Кому

(фамилия, инициалы)

**ДОСТАВОЧНАЯ КАРТОЧКА**

на журнал

**20829**

(индекс издания)

ПВ	место	литер

**ВЕСТНИК РУДН**

**Серия «Экология и безопасность**

**жизнедеятельности»**

Стои- мость	подписки	_____ руб. ____ коп.	Количество комплектов:	
	переадресовки	_____ руб. ____ коп.		

на 2017 год по месяцам

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Куда

(почтовый индекс)

(адрес)

Кому

(фамилия, инициалы)

ф. СП-1

ФГУП «ПОЧТА РОССИИ»

АБОНЕМЕНТ на журнал

--

(индекс издания)

**ВЕСТНИК РУДН**

Серия \_\_\_\_\_

Количество комплектов:

--

на 2016 год по месяцам

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Куда

(почтовый индекс)

(адрес)

Кому

(фамилия, инициалы)

**ДОСТАВОЧНАЯ КАРТОЧКА**

на журнал

--

(индекс издания)

ПВ	место	литер

**ВЕСТНИК РУДН**

Серия \_\_\_\_\_

Стои- мость	подписки	_____ руб. ____ коп.	Количество комплектов:	
	переадресовки	_____ руб. ____ коп.		

на 2016 год по месяцам

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Куда

(почтовый индекс)

(адрес)

Кому

(фамилия, инициалы)